

- Nurhayati Nufus
- A. Furqon As.



# FISIKA

## SMA/MA Kelas X



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

Nurhayati Nufus  
A. Furqon As.

# FISIKA

## SMA/MA Kelas X



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional



Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

Fisika SMA/MA Kelas X

Penulis: Nurhayati Nufus, A. Furqon As.

Editor: Riswandi

Pembaca ahli: Agus Mulyanto

Desainer sampul: Aji Galarso Andoko

Desainer perwajahan: Sri Basuki

Ilustrator: Fakhruddin Hadi, Mukti Ali

Penata letak: Hendriyanto Zaki Nur Rahmat

Pengarah artistik: Sudaryanto

530.07

NUR

NURHAYATI Nufus

f

Fisika : untuk SMA/MA Kelas X / penulis, Nurhayati Nufus, A. Furqon As.; editor, Riswandi ; ilustrator, Fakhruddin Hadi, Mukti Ali .-- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.

vi, 314 hlm. : illus. ; 25 cm

Bibliografi : hlm. 311

Indeks

ISBN: 978-979-068-802-5 (no jilid lengkap)

ISBN: 978-979-068-803-2

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul. II. A. Furqon As III. Riswandi

Hak cipta buku ini telah dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit Pustaka Insan Madani

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ...



# Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (website) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (down load), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009

Kepala Pusat Perbukuan

# Kata Pengantar

Apakah kalian menganggap fisika sebagai mata pelajaran yang rumit? Tentu tidak, bukan? Walaupun fisika mempelajari tentang pelbagai senyawa fisika, reaksi fisika, dan perhitungan fisika, tapi semuanya bisa dipelajari dengan mudah. Apalagi jika didukung dengan penggunaan buku pelajaran yang tepat. Oleh karena itu, kami menghadirkan Seri Fisika SMA/MA ini. Penyajian materi yang lengkap, interaktif, dan dengan beragam contoh kasus menarik, kami harapkan dapat menjadi bekal agar fisika mudah dipahami.

Beragam elemen dan rubrikasi di dalam buku ini antara lain *Apersepsi*, berisi semacam pemanasan sebelum masuk ke materi pelajaran. *Peta Konsep*, yang memuat konsep-konsep inti yang akan diberikan pada setiap bab. *Tujuan Pembelajaran*, yakni uraian singkat memuat target yang ingin dicapai pada setiap bab. *Kata Kunci*, berisi kata-kata yang merupakan inti pembahasan materi dalam bab terkait. *Eksperimen*, yakni praktikum yang dilakukan siswa untuk membuktikan kebenaran materi yang sedang dipelajari. *Ekspedisi*, yaitu tugas individu yang bisa kalian lakukan untuk menambah pengetahuan. Kegiatan ini dapat berupa mencari materi tambahan di buku atau internet, percobaan sederhana, atau tugas proyek. *Mozaik*, berupa informasi tambahan yang terkait dengan materi yang sedang diulas. *Tips & Trik*, yaitu langkah sederhana untuk memudahkan kalian dalam memahami soal serta penjelasan materi. *Teropong*, berisi materi singkat untuk mengingatkan kalian tentang materi yang telah disampaikan sebelumnya. *Eureka*, yakni tugas yang harus dikerjakan secara berkelompok berupa kegiatan diskusi. *Inti Sari*, berisi ringkasan materi dalam satu bab. *Telaah Istilah*, yakni penjelasan kata-kata asing yang ada pada materi yang disampaikan. *Uji Kompetensi*, yang muncul di setiap akhir subbab dan berisi soal-soal untuk menguji kompetensi yang kalian kuasai. *Ulangan Harian*, adalah tes penguasaan materi di setiap akhir bab.

Selain rubrik-rubrik tersebut, masih ada ulangan blok yang meliputi *Latihan Ulangan Tengah Semester*, *Latihan Ulangan Akhir Semester*, dan *Latihan Ujian Kenaikan Kelas*. Ketiganya berfungsi menguji ketercapaian kompetensi.

Demikianlah, buku ini telah kami upayakan agar dapat tampil dengan kualitas maksimal. Untuk itu, kami segenap Tim Penulis Fisika SMA/MA mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, penerbit Pustaka Insan Madani, dan pelbagai pihak yang telah mendukung kami dalam wujud apa pun.

Tim Penulis

# Daftar Isi

Kata Sambutan | iii

Kata Pengantar | iv

Daftar Isi | v

## Bab I Besaran dan Satuan

- A. Besaran Pokok dan Besaran Turunan | 2
  - 1. Besaran Pokok | 3
  - 2. Besaran Turunan | 3
- B. Sistem Satuan Internasional | 5
  - 1. Satuan Panjang | 6
  - 2. Satuan Massa | 6
  - 3. Satuan Waktu | 7
  - 4. Satuan Suhu | 7
  - 5. Satuan Kuat Arus Listrik | 7
  - 6. Satuan Banyak mol Zat | 8
  - 7. Satuan Intensitas Cahaya | 8
- C. Dimensi | 8
  - 1. Pembuktian Kesetaraan dua Besaran Fisis | 9
  - 2. Penentuan Suatu Persamaan yang Mempunyai Kemungkinan Salah atau Benar | 10
- D. Notasi Ilmiah dan Angka Penting | 11
  - 1. Notasi Ilmiah | 11
  - 2. Angka Penting | 13
- E. Pengukuran | 16
  - 1. Kesalahan dalam Pengukuran | 17
  - 2. Ketidakpastian Pengukuran | 17
- F. Pengukuran dan Alat Ukur Panjang Massa dan Waktu | 20
  - 1. Pengukuran dan Alat Ukur Panjang | 20
  - 2. Pengukuran dan Alat Ukur Massa | 23
  - 3. Pengukuran dan Alat Ukur Waktu | 25

## Bab II Vektor

- A. Pengertian Vektor | 32
  - 1. Notasi dan Gambar Vektor | 34
  - 2. Vektor Sejajar dan Berlawanan | 35
  - 3. Besar Vektor | 35
- B. Penguraian Vektor | 36
- C. Vektor Satuan | 38
- D. Operasi Penjumlahan Vektor | 40
  - 1. Penjumlahan Vektor | 40
  - 2. Pengurangan Vektor | 43
  - 3. Penjumlahan Dua Buah Vektor yang Membentuk Sudut | 43
- E. Perkalian Vektor | 45
  - 1. Perkalian Vektor dengan Skalar | 45
  - 2. Perkalian Titik (*dot product*) | 46



3. Perkalian Silang (*cross product*) | 47

## Latihan Ulangan Tengah Semester I | 54

### Bab III Gerak Lurus

---

- A. Pengertian Gerak | 58
- B. Jarak dan Perpindahan | 59
- C. Kelajuan dan Kecepatan | 61
  - 1. Kelajuan Rata-Rata dan Kecepatan Sesaat | 62
  - 2. Gerak Lurus Beraturan (GLB) | 63
- D. Percepatan | 67
  - 1. Pengertian Percepatan | 67
  - 2. Percepatan Rata-rata dan Percepatan Sesaat | 67
  - 3. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) | 69
- E. Aplikasi GLB dan GLBB | 74
  - 1. Gerak Vertikal ke Bawah | 74
  - 2. Gerak Vertikal ke Atas | 76

### Bab IV Gerak Melingkar

---

- A. Gerak Melingkar Beraturan | 84
  - 1. Periode dan Frekuensi | 85
  - 2. Kecepatan Linear dan Kecepatan Sudut | 85
  - 3. Gerak Melingkar Beraturan | 87
  - 4. Percepatan Sentripetal | 88
- B. Gerak Melingkar Beraturan pada Hubungan Roda-roda | 89
  - 1. Roda-roda Sepusat | 89
  - 2. Roda-roda yang Dihubungkan dengan Tali atau Rantai | 90
  - 3. Roda-roda yang Bersinggungan | 90
- C. Gerak Melingkar Berubah Beraturan (Pengayaan) | 92

### Bab V Gaya dan Gerak

---

- A. Hukum Newton | 100
  - 1. Hukum I Newton | 101
  - 2. Hukum II Newton | 103
- B. Hukum III Newton | 109
- C. Gaya Gesek | 111
  - 1. Macam-macam Gaya Gesekan | 112
  - 2. Keuntungan dan Kerugian Gaya Gesek | 117
- D. Aplikasi Hukum-hukum Newton | 118
  - 1. Gerak Benda pada Bidang Datar | 118
  - 2. Gerak Benda pada Bidang Miring | 120
  - 3. Gaya pada Gerak Melingkar | 127
  - 4. Gaya pada Sistem Benda | 129
  - 5. Berat Benda dalam Lift | 132

## Latihan Ulangan Akhir Semester I | 141

### Bab VI Optika Geometri

---

- A. Pemantulan Cahaya | 148
  - Hukum Pemantulan Cahaya | 149
- B. Pembiasan Cahaya | 158
- C. Alat-alat Optik | 175
  - 1. Mata | 175
  - 2. Kamera | 181
  - 3. Mikroskop | 182

- 4. Teropong | 187
- 5. Lup | 194

## **Bab VII** Suhu dan Kalor

---

- A. Suhu dan Kalor | 204
  - 1. Alat Pengukur Suhu | 205
  - 2. Penentuan Skala Suhu | 207
  - 3. Kalor dan Perubahan Suhu | 210
- B. Asas Black dan Perubahan Wujud Zat | 213
  - 1. Asas Black dan Kalorimeter | 213
  - 2. Kalor dan Perubahan Wujud Zat | 216
- C. Pemuaian Zat | 219
  - 1. Pemuaian Panjang | 219
  - 2. Pemuaian Luas | 220
  - 3. Pemuaian Volume | 222
- D. Perpindahan Kalor | 225
  - 1. Hantaran (Konduksi) | 226
  - 2. Aliran (Konveksi) | 229
  - 3. Pancaran (Radiasi) | 230

### Latihan Ulangan Tengah Semester II | 237

## **Bab VIII** Listrik Dinamis

---

- A. Besaran Listrik dan Alat Ukur Listrik | 242
  - 1. Arus Listrik | 243
  - 2. Beda Potensial | 245
  - 3. Hambatan Listrik (resistansi) | 246
- B. Hukum Ohm dan Rangkaian Resistor | 249
  - 1. Hukum Ohm | 249
  - 2. Rangkaian Resistor | 252
- C. Hukum Kirchoff dan Rangkaian Listrik | 258
  - 1. Hukum Kirchoff I tentang Arus di Percabangan | 258
  - 2. Gaya Gerak Listrik (GGL) dan Tegangan Jepit | 259
  - 3. Rangkaian Sumber Tegangan | 260
  - 4. Hukum Kirchoff II | 264
- D. Sumber Tegangan | 266
  - 1. Perbedaan Sumber Tegangan Searah (DC) dan Sumber Tegangan Bolak-balik (AC) | 266
  - 2. Sumber Tegangan Searah dan Pemakaiannya | 268
  - 3. Sumber Tegangan Bolak-balik dan Pemakaiannya | 270
- E. Energi dan daya Listrik | 271

## **Bab IX** Gelombang Elektromagnetik

---

- A. Spektrum Gelombang Elektromagnetik | 282
  - 1. Pengertian Gelombang Elektromagnetik | 282
  - 2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik | 284
- B. Pemanfaatan Gelombang Elektromagnetik dalam Kehidupan Sehari-hari | 287
  - 1. Gelombang Radio dan Gelombang Televisi | 287
  - 2. Gelombang Mikro dan Radar | 290
  - 3. Sinar Inframerah | 291
  - 4. Cahaya Tampak dan Laser | 291
  - 5. Sinar Ultraviolet | 293
  - 6. Sinar-X | 293
  - 7. Sinar Gamma | 293

### Latihan Ulangan Kenaikan Kelas | 299

Kunci Jawaban | 305

Indeks | 309

Daftar Pustaka | 311



# B a b I

## Besaran dan Satuan



[www.thefitsystem.com](http://www.thefitsystem.com)

Seorang yang sedang menimbang barang atau benda dapat dikatakan sedang mengukur massa benda. Dalam kehidupan sehari-hari, seringkali orang menyatakan hasil timbangannya sebagai berat benda dengan satuan kilogram. Padahal, seharusnya hasil timbangan dalam satuan kilogram digunakan untuk menyatakan massa benda, bukan berat. Apakah perbedaan massa dan berat dalam fisika? Mari kita bahas bersama uraian materi di bab ini.





Di bab ini, kalian akan mempelajari beberapa hal yang berkaitan dengan pengukuran, antara lain besaran, satuan, dimensi, dan cara menyatakan hasil pengukuran dengan benar. Dengan melakukan percobaan sederhana, kalian akan menguasai cara penggunaan alat-alat untuk mengukur panjang, massa, dan waktu dengan baik dan benar. Setelah melakukan percobaan, kalian diharapkan dapat menuliskan hasil pengukuran dengan mempertimbangkan aspek ketelitian dan ketepatan pengukuran. Selain itu, kemampuan menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk grafik dan diagram atau bentuk lainnya juga perlu dikuasai. Dengan demikian, hasil percobaan yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

## A. Besaran Pokok dan Besaran Turunan

Pengukuran merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan kita sehari-hari. **Pengukuran** diartikan sebagai kegiatan membandingkan suatu benda dengan benda lain. Misalnya, ketika mengukur panjang meja menggunakan mistar, berarti kita membandingkan panjang meja dengan panjang mistar. Ketika kita mengukur massa benda dengan anak timbangan, berarti kita membandingkan massa benda dengan massa anak timbangan.

Hasil pengukuran kemudian dinyatakan dalam angka dan sesuatu yang menyertainya. Apakah arti angka dan sesuatu yang menyertainya tersebut? Angka dan sesuatu yang menyertainya disebut satuan. Sedangkan sesuatu yang diukur disebut besaran. Untuk lebih mengenal pengertian besaran dan satuan, kerjakan *Eureka* berikut.

### Eureka

**Perhatikanlah pernyataan-pernyataan di bawah ini.**

1. Jumlah siswa di kelas kalian adalah 40 orang.
2. Panjang meja belajar Andi adalah 1 meter.
3. Seorang pembalap mengendarai sepeda motor dengan kelajuan 110 km/jam.
4. Suhu badan Aminah adalah  $36^{\circ}\text{C}$ .
5. Suatu kolam renang mempunyai volume  $400\text{ m}^3$ .
6. Perjalanan dari Jogja ke Solo dapat ditempuh dalam waktu 1,5 jam.
7. Andi mendorong mobil yang mogok dengan gaya 200 N.
8. Ayah sedang memasang lampu neon 40 watt.
9. Paman kemarin membeli aki yang dapat menghasilkan kuat arus 20 ampere.
10. Dari penelitian para ahli fisika diketahui intensitas cahaya suatu benda hitam  $1\text{ m}^2$  adalah  $6 \times 10^5$  kandela.

Dari setiap pernyataan di atas, manakah yang termasuk besaran dan satuan? Setelah mengetahuinya, cobalah untuk mendefinisikan pengertian besaran dan satuan. Berdiskusilah bersama teman sebangku kalian dan bacakan hasilnya di depan kelas.

Di SMP/MTs kelas VII, kalian telah mempelajari materi besaran dan satuan, termasuk pembagian besaran ke dalam besaran pokok dan besaran turunan. Dengan melakukan diskusi pada *Eureka* tersebut, kalian tentunya telah bisa mendefinisikan pengertian besaran dan satuan. Pernyataan-pernyataan yang terdapat pada *Eureka* tersebut menyatakan besaran dan satuan yang berbeda-beda.

Besaran yang kalian temukan di depan dikelompokkan menjadi besaran pokok dan besaran turunan. Apakah perbedaan besaran pokok dan besaran turunan? Untuk lebih jelasnya, simaklah penjelasan berikut.

## 1. Besaran Pokok

Coba kalian perhatikan kembali beberapa pernyataan pada *Eureka* di depan. Pada *Eureka* tersebut terdapat besaran panjang, suhu, waktu, dan kuat arus. Besaran-besaran tersebut adalah contoh beberapa **besaran pokok**.

**Besaran pokok** adalah besaran yang berdiri sendiri dan satuannya tidak tergantung pada satuan besaran yang lain.

Besaran pokok merupakan besaran yang dijadikan dasar bagi besaran yang lain, dan dapat diukur secara langsung. Dalam fisika, dikenal 7 besaran pokok yaitu panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus listrik, banyak mol zat, dan intensitas cahaya.

Besaran-besaran pokok tersebut mempunyai lambang yang berbeda-beda dengan satuan yang berbeda-beda pula. Besaran-besaran pokok tersebut dapat dinyatakan dengan satuan pokok atau satuan dasar. Coba kalian perhatikan Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Besaran pokok dan satuannya

No	Besaran Pokok	Lambang	Satuan	Singkatan
1	Panjang	$l$	meter	m
2	Massa	$m$	kilogram	kg
3	Waktu	$t$	sekon	s
4	Suhu	$T$	kelvin	K
5	Kuat arus listrik	$I$	ampere	A
6	Banyaknya molekul zat	$N$	mole	mol
7	Intensitas cahaya	$J$	kandela	cd

*Halliday & Resnick, 1995, hlm 5*

Tabel 1.1 menunjukkan 7 besaran pokok yang mempunyai lambang dan satuan yang berbeda-beda. Lambang dan satuan yang dimiliki besaran di atas merupakan ciri khas dari besaran pokok tersebut. Bagaimana dengan lambang dan satuan untuk besaran turunan?

## 2. Besaran Turunan

Pada *Eureka* di depan, kalian menemukan besaran kelajuan, volume, gaya, dan luas. Besaran-besaran ini merupakan contoh besaran turunan. Kita ambil contoh besaran kelajuan. Dari pernyataan tersebut,

besaran kelajuan mempunyai satuan km/jam. Berdasarkan Tabel 1.1, kita tahu bahwa km atau m adalah satuan besaran panjang, sedangkan jam adalah satuan untuk besaran waktu. Dari kenyataan ini, kita dapat menyimpulkan bahwa kelajuan benda tergantung pada besaran panjang dan besaran waktu. Dengan demikian, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa **besaran turunan adalah besaran yang tersusun dari beberapa besaran pokok.**

Perhatikan beberapa contoh besaran turunan berikut.

a. Kelajuan

Kelajuan merupakan besaran turunan. Besaran kelajuan ( $v$ ) diturunkan dari besaran pokok panjang dan waktu, yaitu jarak ( $s$ ) dibagi waktu ( $t$ ) yang dirumuskan:

$$v = \frac{s}{t}$$

b. Massa Jenis

Massa jenis ( $\rho$ ) diturunkan dari besaran massa ( $m$ ) dibagi volume ( $V$ ). Volume sendiri diturunkan dari besaran panjang. Dengan demikian, massa jenis ( $\rho$ ) dapat dirumuskan:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

c. Gaya

Gaya ( $F$ ) diturunkan dari besaran massa ( $m$ ) dikalikan percepatan ( $a$ ). Percepatan diturunkan dari besaran kecepatan ( $v$ ) dan waktu ( $t$ ), sedangkan besaran kecepatan diturunkan dari besaran panjang ( $l$ ) dan waktu ( $t$ ). Untuk mencari gaya, kita dapat menggunakan persamaan:

$$F = ma$$

d. Muatan Listrik

Muatan listrik ( $Q$ ) diturunkan dari besaran kuat arus listrik ( $I$ ) dikalikan waktu ( $t$ ).

$$Q = It$$

e. Molaritas Zat

Molaritas zat ( $M$ ) diturunkan dari besaran banyak mol zat ( $N$ ) dibagi volume ( $V$ ), besaran volume diturunkan dari besaran panjang:

$$M = \frac{N}{V}$$

Untuk mengetahui contoh besaran turunan lainnya, kerjakanlah *Ekspedisi* berikut ini.



## Ekspedisi

Apakah perbedaan antara besaran pokok dan besaran turunan? Carilah contoh besaran turunan minimal 7 contoh. Sertakan pula lambang, rumus pokok, satuan, dan singkatannya. Untuk setiap

besaran turunan, dari besaran pokok apakah besaran tersebut diturunkan?  
Kumpulkan hasil pekerjaan kalian kepada guru di kelas.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi di depan, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

- Dari setiap pernyataan berikut, manakah yang disebut besaran dan manakah yang disebut satuan?
  - Arman membeli aki yang dapat menghasilkan arus 25 ampere.
  - Hasil pemeriksaan oleh dokter menunjukkan suhu badan Ani mencapai 39°C.
  - Arman akan membuat meja belajar sendiri. Ia membutuhkan kayu dengan panjang 12 meter.
  - Dita membeli kalung emas 5 gram di toko Cahaya Mas.
- Lengkapi tabel berikut dengan mencarinya dari pelbagai buku fisika.

No	Besaran Turunan	Rumus	Satuan	Singkatan
1	Percepatan	$a = \frac{v}{t}$	...	m/s <sup>2</sup>
2	...	$p = \frac{F}{A}$	pascal atau newton/meter <sup>2</sup>	...
3	Energi	...	...	kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
4	Muatan listrik	...	...	C
5	...	...	watt	W

## B. Sistem Satuan Internasional

Perlu kalian ingat, suatu besaran, baik besaran pokok maupun besaran turunan selalu disertai dengan satuan. Setiap besaran mempunyai satuan tertentu yang berbeda dengan satuan untuk besaran lain. Satuan-satuan pada besaran pokok yang telah kita pelajari merupakan satuan yang digunakan secara internasional, yang disebut juga **Sistem Satuan Internasional**, disingkat SI. Mengapa diperlukan sistem satuan internasional?

Perhatikan Gambar 1.1. Kalian mungkin pernah melakukan kegiatan mengukur panjang buku menggunakan jengkal tangan seperti pada ilustrasi tersebut. Ketika kalian melakukan pengukuran, hasil setiap pengukuran orang akan berbeda atau tidak seragam. Kalian akan kesulitan jika harus menyatakan secara tepat panjang buku itu dalam jengkal. Ini disebabkan panjang jengkal tangan setiap orang tidak sama.



**Gambar 1.1** Mengukur panjang buku menggunakan jengkal tangan, menyebabkan hasilnya tidak seragam.

dok. PTM



Bangsa Mesir Kuno menggunakan panjang telapak kaki dari tumit sampai ujung ibu jari Fir'aun sebagai satuan pengukuran kaki dan panjang dari siku Fir'aun sampai ujung jari tengahnya untuk satuan pengukuran siku. Masalah yang muncul dari satuan ini, dari abad ke abad, adalah adanya perbedaan alat ukur, tergantung pada penguasa atau Fir'aun massa itu.

Wiese, Jim, 2004, hlm. 39

Masalah penggunaan satuan dalam pengukuran di depan sudah dialami manusia sejak dulu. Di sekitar kita, masih sering dijumpai orang yang mengukur panjang benda dengan satuan jengkal atau depa. Tidak di sini saja, di tempat-tempat lain juga terjadi demikian. Bahkan, untuk menyatakan panjang di Inggris dan Amerika Serikat masih digunakan satuan kaki (*feet*).

Hasil pengukuran menggunakan satuan depa, jengkal, dan kaki berbeda-beda antara orang yang satu dengan orang lain. Dengan alasan itulah maka depa, jengkal, dan langkah kaki tidak bisa dijadikan standar pengukuran panjang.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sejak tahun 1960 telah digunakan Sistem Satuan Internasional yang disingkat SI, yang dalam bahasa Inggris disebut *International System of Unit* atau dalam bahasa Perancis *le System International d'unites*. Sistem ini merupakan hasil kesepakatan dari CGPM (*Conference General des Poids et Measures*) di Paris, Perancis.

Sistem Internasional (SI) dibagi menjadi dua sistem, yaitu sistem MKS dan CGS.

1. Sistem MKS (meter, kilogram, sekon) yaitu cara menyatakan besaran dengan memakai satuan meter, kilogram, dan sekon.
2. Sistem CGS (centi, gram, sekon) yaitu cara menyatakan besaran dengan memakai satuan centimeter, gram, dan sekon.

## 1. Satuan Panjang

Dalam satuan internasional, standar satuan panjang adalah **meter**. Berdasarkan sejarahnya, satu meter didefinisikan sebagai sepersepuluh juta kali jarak khatulistiwa dengan kutub utara sepanjang meridian yang melewati Paris. Namun, jarak ini selalu berubah dengan adanya pemampatan yang diakibatkan oleh gerak rotasi bumi. Kemudian, dibuatlah meter standar yang terbuat dari campuran platina-iridium yang tersimpan di Sevres dekat Paris, Perancis. Perhatikan Gambar 1.2.

Perkembangan selanjutnya, para ahli juga menilai meter standar tersebut kurang teliti, mudah berubah, dan sulit didapatkan. Untuk itu, diperlukan meter standar dengan nilai yang tetap. Pada tahun 1960 ditetapkan satu meter standar sebagai berikut.

**1 meter standar** = panjang gelombang yang dihasilkan oleh gas Krypton berwarna merah jingga untuk bergetar 1.650.763,73 kali.

## 2. Satuan Massa

Satuan untuk massa adalah **gram**. Standar satuan massa adalah sebuah silinder platina iridium yang disimpan di Lembaga Berat dan Ukuran Internasional, dan sebagai perjanjian internasional disebut sebagai massa sebesar 1 kilogram. Standar sekunder dikirimkan ke laboratorium standar di pelbagai negara yang massanya telah ditentukan dengan menggunakan teknik neraca ber lengan sama.



Halliday & Resnick, 1995, hlm.10

**Gambar 1.2** Meter standar yang terbuat dari campuran platina iridium yang disimpan di Sevres dekat Paris.



Halliday & Resnick, 1995, hal. 10

**Gambar 1.3** Kilogram standar no. 20 yang disimpan di Lembaga Nasional Amerika Serikat. Kilogram standar ini merupakan turunan yang sangat teliti.

Dalam skala atomik, kita memiliki standar massa kedua. Standar massa ini adalah massa atom  $C^{12}$  yang diberikan harga tepat sebesar 12 satuan massa atom terpadu (*unified atomic mass unit*) disingkat  $u$  dengan  $1 u = 1,667 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

### 3. Satuan Waktu

Satuan untuk waktu adalah **sekon**. Pada awalnya, standar waktu yang digunakan adalah perputaran bumi pada porosnya (rotasi). Karena perputaran ini tidak tetap, maka diambil rata-ratanya. Berdasarkan rotasi rata-rata ini ditetapkan bahwa satu sekon adalah  $1/86.400$  hari matahari rata-rata. Dalam pengamatan ahli astronomi, waktu ini kurang tepat karena adanya pergeseran.

Pada tahun 1967 digunakan standar waktu yang diukur berdasarkan getaran atom cesium-133 (perhatikan Gambar 1.4). Standar waktu yang didasarkan pada getaran atom cesium ini diterima sebagai standar internasional oleh Konferensi Umum mengenai Berat dan Ukuran ketiga belas.

**1 sekon** didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan atom cesium-133 untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali.

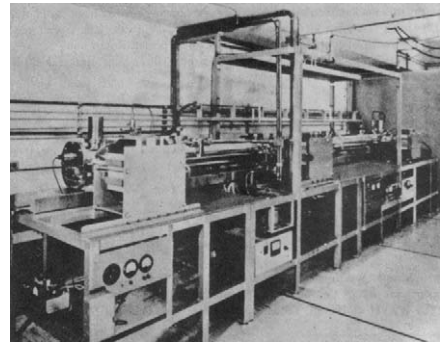
### 4. Satuan Suhu

Suhu atau temperatur menyatakan derajat atau tingkatan panas suatu benda. Kalian pastinya pernah mendengar, bahkan mengetahui pelbagai jenis termometer. Termometer adalah alat untuk mengukur suhu suatu benda. Satuan suhu dinyatakan dengan **derajat**, baik derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ), dan Kelvin (K), tergantung pada jenis termometer yang kalian gunakan. Dalam fisika, satuan suhu yang sering dipakai adalah Kelvin (K).

### 5. Satuan Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik menyatakan jumlah muatan listrik yang melewati suatu penghantar (konduktor) setiap satuan waktu. Satuan kuat arus listrik adalah **ampere**. Kuat arus listrik dikatakan 1 ampere jika muatan sebesar 1 coulomb mengalir dalam kawat konduktor setiap sekon.

Berdasarkan Hukum Ohm, 1 ampere adalah besar kuat arus listrik yang mengalir pada kawat konduktor dengan hambatan 1 ohm dan beda potensial 1 volt. Sementara itu, berdasarkan terjadinya gaya Lorentz, 1



Gambar 1.4 Standar frekuensi atomik berkas cesium di laboratorium Boulder di Lembaga Standar Nasional

Huttliday dan Resnick, 1995, hal. 13

## Mozaik



**Amedeo Avogadro** (1776-1856) adalah ahli fisika berkebangsaan Italia. Karya Avogadro yang terkenal adalah Fisika Dèicorpi Penderabili yang terbit pada tahun 1837-1841, dan hipotesisnya yaitu gas yang mempunyai volume, suhu dan tekanan yang sama, akan mempunyai jumlah molekul yang sama pula. Dari hipotesis ini, munculah konsep gram-molekul (grammol) dan konsep bilangan Avogadro.

Konsep ini menyatakan jumlah molekul yang dikandung oleh berat gram molekul suatu zat. Pada tahun 1941 bilangan Avogadro diberi lambing  $N_A$  oleh R.T Birge, dan ditetapkan nilainya sebesar  $6,023 \times 10^{23}$ .

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 14

Pengukuran waktu berdasarkan getaran atom cesium mempunyai kesalahan 1 sekon dalam kurun waktu 5.000 tahun. Saat ini telah ditemukan alat untuk mengukur waktu yang lebih teliti lagi, yaitu maser hidrogen. Kemungkinan kesalahan alat ini adalah 1 sekon dalam kurun waktu 33 juta tahun.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 157

ampere adalah kuat arus listrik pada dua kawat sejajar yang berjarak 1 m dan menyebabkan gaya Lorentz sebesar  $2 \times 10^{-7}$  N, dan kedua arus searah.

## 6. Satuan Banyak mol Zat

Molekul zat merupakan bagian terkecil dari suatu zat yang masih memiliki sifat zat tersebut. Satuan untuk banyak molekul zat adalah **mol** (*mole*). 1 mol menyatakan jumlah partikel dalam suatu zat yang sama jumlahnya dengan banyaknya partikel dalam 12 gram atom C-12 (karbon-12). Jumlah partikel/atom dalam 12 gram atom C-12 adalah  $6,02 \times 10^{23}$  partikel. Jumlah partikel atau atom ini disebut tetapan Avogadro dan dinyatakan dengan huruf L.

## 7. Satuan Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah banyaknya fluks cahaya yang menembus bidang setiap satuan sudut ruang. Satuan intensitas cahaya adalah **kandela**. Jika benda hitam seluas  $1 \text{ m}^2$  pada suhu titik lebur platina ( $1.773^\circ\text{C}$ ) memancarkan cahaya tegak lurus bidang, intensitas cahaya yang terjadi sebesar  $6 \times 10^5$  kandela. Kandela menyatakan energi cahaya per waktu (daya) setiap satu satuan sudut ruang.

## C. Dimensi

Satuan suatu besaran yang telah ditetapkan dalam sistem satuan internasional merupakan ciri khas dari suatu besaran. Tiap-tiap besaran mempunyai satuan yang berbeda satu dengan lainnya. Selain satuan, ciri khas besaran pokok dan besaran turunan lainnya adalah dimensi. **Dimensi** adalah cara suatu besaran tersusun atas besaran-besaran pokok. Dimensi dalam fisika ditulis dengan huruf-huruf tertentu di dalam tanda kurung siku. Dimensi dari setiap besaran pokok dapat kalian perhatikan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2 Dimensi besaran-besaran pokok**

No	Besaran Pokok	Lambang	Dimensi
1	Panjang	$l$	[L]
2	Massa	$m$	[M]
3	Waktu	$t$	[T]
4	Suhu	$T$	[I]
5	Kuat Arus Listrik	$I$	[ $\theta$ ]
6	Banyaknya molekul Zat	$N$	[N]
7	Intensitas Cahaya	$J$	[J]

Dimensi besaran turunan dapat ditentukan dari rumus besaran turunan yang dinyatakan dalam besaran pokok. Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Tentukanlah dimensi dari besaran turunan kecepatan, percepatan, dan muatan listrik.

### Penyelesaian:

1. Kecepatan adalah hasil bagi antara perpindahan dengan waktu.  
$$\begin{aligned}[\text{kecepatan}] &= [\text{perpindahan}] : [\text{waktu}] \\ &= [L] : [T] \\ &= [L][T]^{-1}\end{aligned}$$
2. Percepatan adalah hasil bagi kecepatan dengan waktu.  
$$\begin{aligned}[\text{percepatan}] &= [\text{kecepatan}] : [\text{waktu}] \\ &= [L][T]^{-1} : [T] \\ &= [L][T]^{-2}\end{aligned}$$
3. Muatan listrik adalah hasil bagi antara kuat arus dengan waktu.  
$$\begin{aligned}[\text{muatan listrik}] &= [\text{kuat arus}] : [\text{waktu}] \\ &= [I] : [T] \\ &= [I][T]^{-1}\end{aligned}$$

## Tips & Trik

Pada saat belajar matematika di kelas VII SMP/MTs, kalian telah mempelajari sifat perkalian dan pembagian bilangan berpangkat sebagai berikut.

$$\frac{p^n}{p^m} = p^{n-m}$$

$$p^n \times p^m = p^{n+m}$$

Nah, mudah bukan? Dapatkah kalian menuliskan dimensi dari besaran turunan yang lain? Coba kalian kerjakan tugas berikut.



## Ekspedisi

Pada subbab besaran pokok dan besaran turunan, kalian telah mendapat tugas untuk mencari contoh besaran turunan. Dari tugas yang telah kalian kerjakan tersebut, tentukan dimensi setiap besaran

turunan yang telah kalian tuliskan. Kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

Dalam fisika, dimensi digunakan dalam pembuktian kesetaraan dari dua besaran fisis dan penentuan persamaan yang mempunyai kemungkinan salah atau benar.

### 1. Pembuktian kesetaraan dua besaran fisis

## Contoh

Buktikan bahwa impuls dan momentum merupakan dua besaran vektor yang setara.

### Penyelesaian:

Impuls adalah hasil kali gaya dan waktu.

$$\begin{aligned}[\text{impuls}] &= [\text{gaya}] [\text{waktu}] \\ &= [M][L][T]^{-2} [T] \\ &= [M][L][T]^{-1}\end{aligned}$$

Sekarang, kita menentukan dimensi dari momentum.

Momentum adalah hasil kali massa dengan kecepatan.

$$\begin{aligned}[\text{momentum}] &= [\text{massa}] [\text{kecepatan}] \\ &= [M][L][T]^{-1}\end{aligned}$$

Dari pembuktian tersebut, diperoleh bahwa impuls dan momentum mempunyai dimensi yang sama. Oleh sebab itu, keduanya termasuk besaran yang setara.



## 2. Penentuan suatu persamaan yang mempunyai kemungkinan salah atau benar

### Contoh

Selidikilah dengan analisis dimensi, apakah persamaan-persamaan di bawah ini benar?

- a.  $a = \frac{m}{F}$
- b.  $s = vt + \frac{1}{2}at^2$

**Penyelesaian:**

- a. Percepatan ( $a$ ) termasuk besaran turunan dengan dimensi  $[L][T]^{-2}$ , gaya ( $F$ ) mempunyai dimensi  $[M][L][T]^{-2}$ . Mari kita selidiki kebenaran persamaan sebagai berikut.

$$[\text{percepatan}] = [\text{massa}] : [\text{gaya}]$$
$$[L][T]^{-2} = [M] : [M][L][T]^{-2}$$

$$[L][T]^{-2} \neq [L]^{-1}[T]^2$$

Karena dimensi kedua ruas tidak sama, maka persamaan tersebut salah.

- b. Jarak ( $s$ ) termasuk besaran panjang dengan dimensi  $[L]$ , kelajuan ( $v$ ) mempunyai dimensi  $[L][T]^{-1}$ , dan percepatan dimensinya adalah  $[L][T]^{-2}$ .

$$[\text{jarak}] = [\text{kelajuan}][\text{waktu}] +$$

$$\frac{1}{2}[\text{percepatan}][\text{waktu}]^2$$

$$[L] = [L][T]^{-1}[T] + [L][T]^{-2}[T]^2 \text{ (catatan : } \frac{1}{2} \text{ tidak berdimensi)}$$

$$[L] = [L] + [L]$$

Kedua ruas mempunyai dimensi yang sama maka persamaan itu pasti benar.

Untuk mengetahui tingkat pemahaman kalian pada materi dimensi, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

### Uji Kompetensi

- Tentukanlah dimensi dari pelbagai besaran turunan berikut.
  - Kecepatan
  - Percepatan
  - Gaya
  - Energi
  - Massa jenis
  - Impuls
  - Daya
- Usaha dan energi kinetik merupakan besaran skalar. Usaha adalah hasil kali gaya dengan perpindahan, sedangkan energi kinetik dapat dirumuskan sebagai  $\frac{1}{2}mv^2$ . Apakah besaran usaha dan energi setara?
- Selidikilah dengan analisis dimensi, apakah persamaan-persamaan di bawah ini benar?
  - $\lambda = \frac{v}{f}$  (keterangan:  $\lambda$  = panjang gelombang,  $v$  = cepat rambat gelombang,  $f$  = periode)
  - $v = \frac{s}{t}$
  - $E_p = mgh$  (keterangan:  $E_p$  = energi potensial,  $m$  = massa,  $g$  = percepatan gravitasi,  $h$  = ketinggian)

4. Lengkapi tabel berikut dengan mencarinya dari pelbagai buku fisika.

No	Besaran Turunan	Rumus	Dimensi
1	Percepatan	$a = \frac{v}{t}$	...
2	...	$p = \frac{F}{A}$	$[M][L]^{-1}[T]^{-2}$
3	Energi kinetik	...	...
4	...	$\rho = \frac{m}{v}$	...
5	...	...	$[I][T]$
6	Daya	...	...

## D. Notasi Ilmiah dan Angka Penting

Dalam fisika, sering dijumpai bilangan yang sangat kecil atau sangat besar. Misalnya massa elektron yang sangat kecil dan massa planet Jupiter yang 11,2 kali lipat massa Bumi. Sebagai contoh, massa elektron kira-kira 0,0000000000000000000000000000911 kg dan massa planet Jupiter 669.800.000.000.000.000.000.000.000 kg. Kita tentunya merasa kesulitan jika harus menuliskan massa elektron dan planet Jupiter tersebut. Ada satu cara mudah untuk menuliskan bilangan tersebut, yaitu dengan notasi ilmiah.

### 1. Notasi Ilmiah

Kita akan kesulitan jika harus menuliskan bilangan yang sangat besar, maupun bilangan yang sangat kecil. Untuk mengatasi kesulitan tersebut, kita memerlukan suatu cara untuk menyederhanakan bilangan-bilangan tersebut. Salah satu cara untuk menyederhanakan bilangan tersebut adalah dengan notasi ilmiah. **Notasi ilmiah** adalah suatu cara menuliskan suatu bilangan dalam bentuk sebagai berikut.

$$a, \dots \times 10^n$$

#### Keterangan:

a = bilangan asli dari 1 sampai 9 (bilangan penting).

n = pangkat, dengan n adalah bilangan bulat (orde).

Berdasarkan notasi tersebut, massa elektron dapat ditulis  $9,11 \times 10^{-31}$  kg, sedangkan massa Jupiter adalah  $6,698 \times 10^{29}$  kg.

Untuk mencari a dan n, kita dapat mengikuti cara berikut.

- Untuk bilangan  $\geq 10$ , beri tanda koma desimal di akhir bilangan, kemudian pindahkan tanda koma desimal ke kiri sampai tertinggal 1 angka (a,...). Hitunglah angka yang terlewat saat memindahkan tanda koma desimal. Jumlah angka yang terlewat merupakan pangkat (n) dan bernilai positif (+).

- b. Untuk bilangan  $\leq 1$ , pindahkan tanda koma desimal ke kanan sampai ke satu angka yang bukan angka nol. Hitunglah angka yang terlewat saat memindahkan tanda koma tersebut. Jumlah angka yang terlewat merupakan pangkat (n), dan bernilai negatif (-).  
Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Tulislah dengan notasi ilmiah hasil pengukuran berikut.

- Jarak rumah Andi ke madrasah 1.230 m.
- Dalam fisika, besar permeabilitas ruang hampa adalah 0,000001257 Tm/A.
- Kecepatan cahaya adalah 300.000.000 m/s.
- Massa matahari sebesar 1.990.000.000.000.000.000.000.000.000 kg.

- Muatan elektron adalah 0,000000000000000000016 C.

**Penyelesaian:**

- $1.230 \text{ m} = 1,23 \times 10^3 \text{ m}$ .
- $0,000001257 \text{ Tm/A} = 1,257 \times 10^{-6} \text{ Tm/A}$ .
- $300.000.000 \text{ m/s} = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .
- $1.990.000.000.000.000.000.000.000.000 \text{ kg} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$ .
- $0,000000000000000000016 \text{ C} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Untuk menyederhanakan suatu bilangan yang sangat besar maupun sangat kecil, selain dengan notasi ilmiah, kita juga bisa menggunakan awalan-awalan untuk bilangan  $10^n$ . Coba kalian perhatikan Tabel 1.3.

**Tabel 1.3** Tabel awalan-awalan dalam SI.

Faktor	Awalan	Simbol	Faktor	Awalan	Simbol
$10^1$	deka ( <b>deca</b> )	da	$10^{-1}$	desi ( <b>desi</b> )	d
$10^2$	hekto	h	$10^{-2}$	senti ( <b>centi</b> )	c
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	mili	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	mikro ( <b>micro</b> )	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	piko ( <b>pico</b> )	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	eksa ( <b>exa</b> )	E	$10^{-18}$	atto	a

*Halliday & Resnick, 1995, hlm. 6*

Untuk menambah pemahaman kalian tentang penggunaan awalan-awalan ini, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

$$1 \times 10^1 \text{ m} = \frac{10^1}{10^0} \text{ dam} = 1 \text{ dam}$$

$$= \frac{10^1}{10^{-6}} \mu\text{m} = 10^7 \mu\text{m}$$

$$2. \quad 6 \times 10^3 \text{ g} = \frac{6 \times 10^3}{10^3} \text{ kg} = 6 \text{ kg}$$

$$= \frac{6 \times 10^3}{10^{-2}} = 6 \times 10^5 \text{ kg}$$

$$3. \quad 1 \text{ MV} = 10^3 \text{ kV} = 10^6 \text{ V} = 10^9 \text{ mV}$$

## 2. Angka Penting

Arman dan 4 orang temannya sedang mengukur panjang buku tulis. Mereka mengukur 10 buku tulis menggunakan mistar. Dari hasil pengukuran, mereka mendapatkan 5 buku tulis yang mempunyai panjang sama, yaitu 30,20 cm. Perhatikan Gambar 1.5.

Dari cerita tersebut, kalian menemui angka 4 orang, 10 buku, dan 5 buku. Angka 4, 10, dan 5 di atas disebut **angka eksak** yaitu **angka yang sudah pasti nilainya dan tidak diragukan lagi**. Bilangan eksak didapatkan dari penghitungan, bukan hasil pengukuran. Contohnya: 5 jeruk, 15 pensil, 7 orang, 4 kelas, dan sebagainya.

Gambar 1.5 memperlihatkan hasil pengukuran panjang buku tulis adalah 30,20 cm. Angka 30,20 dari hasil pengukuran ini disebut **angka penting**. Angka 30,2 adalah angka yang dapat kalian baca dari skala mistar disebut angka pasti, sedangkan 0,00 disebut angka taksiran (tidak pasti) karena angka ini tidak dapat dilihat atau dibaca. **Angka penting adalah semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran.**



Gambar 1.5 Seorang siswa sedang mengukur buku tulis yang panjangnya 30,2 cm.

### a. Aturan angka penting

Hasil pengukuran pada Gambar 1.5 mempunyai 4 angka penting, yaitu 3 angka pasti dan 1 angka taksiran. Untuk mengetahui jumlah angka penting pada suatu bilangan, kalian dapat mengikuti aturan angka penting sebagai berikut.

1. Semua angka bukan nol adalah angka penting.  
Contoh: 12,55 mempunyai 4 angka penting.
2. Semua angka nol yang terletak di antara angka bukan nol adalah angka penting.  
Contoh: 4050,04 mempunyai 6 angka penting.
3. Angka nol di sebelah kanan angka bukan nol tanpa tanda desimal adalah bukan angka penting, kecuali diberi tanda khusus (garis bawah/atas).  
Contoh: 502.000 mempunyai 3 angka penting  
502.000 mempunyai 4 angka penting  
502.000 mempunyai 5 angka penting
4. Angka nol di sebelah kanan tanda desimal, dan di sebelah kiri angka bukan nol adalah bukan angka penting.  
Contoh: 0,0034 mempunyai 2 angka penting.
5. Semua angka di sebelah kanan tanda desimal dan mengikuti angka bukan nol adalah angka penting.  
Contoh: 12,00 mempunyai 4 angka penting  
0,004200 mempunyai 4 angka penting.

Untuk membantu kalian dalam memahami aturan angka penting, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Berapakah jumlah angka penting pada hasil pengukuran di bawah ini?

- Andi berjalan sejauh 456,2 m.
- Pelari itu telah berlari selama 8000 s.
- Massa mobil truk 1310,06 kg.
- Kecepatan cahaya adalah  $3,0 \times 10^8$  m/s.
- Suhu di kutub utara dapat mencapai hingga  $0,0025^\circ\text{C}$ .
- Kuat arus listrik yang dihasilkan sebuah baterai sekitar 0,50 ampere.

Penyelesaian:

- 456,2 m mempunyai 4 angka penting.
- 8000 s mempunyai 1 angka penting.
- 1310,06 g mempunyai 6 angka penting.
- $3,0 \times 10^8$  m/s mempunyai 2 angka penting.
- 0,0025 g mempunyai 2 angka penting.
- 0,50 ampere mempunyai 2 angka penting.

### b. Operasi Angka Penting

Untuk menyelesaikan operasi bilangan yang melibatkan angka penting, diterapkan beberapa aturan yang sedikit berbeda dengan operasi bilangan biasanya. Sebelum membahasnya lebih lanjut, kita harus tahu prinsip pembulatan angka terlebih dahulu.

#### 1) Pembulatan Angka

Pembulatan angka ini sering digunakan dalam materi-materi selanjutnya. Aturan dalam pembulatan angka penting adalah sebagai berikut.

- Angka lebih dari 5 dibulatkan ke atas dan angka kurang dari 5 dihilangkan.

Contoh: 456,67 dibulatkan menjadi 456,7

456,64 dibulatkan menjadi 456,6

- Apabila tepat angka 5, dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya angka ganjil, dan dihilangkan jika angka sebelumnya angka genap.

Contoh: 456,65 dibulatkan menjadi 456,6

456,55 dibulatkan menjadi 456,6.

#### 2) Penjumlahan dan Pengurangan Angka Penting

Operasi penjumlahan dan pengurangan angka penting mengikuti aturan:

Penulisan hasil operasi penjumlahan dan pengurangan mengikuti jumlah angka taksiran yang paling sedikit dan pembulatan dilakukan sekali saja.

Agar kalian memahami operasi penjumlahan dan pengurangan angka penting, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

- Berapakah jumlah dari 16,256 g; 17,19 g; dan 9,3 g?
- Seorang pendaki telah menempuh jarak dari kaki hingga puncak gunung dengan

waktu 121.234,3233 s. Jika selama perjalanan pendaki beristirahat selama 2.563,98 s berapa lamakah pendaki tersebut berjalan?

**Penyelesaian:**

a.  $16,256 + 17,19 + 9,3 = 42,7$

16,256	(3 angka taksiran)	
17,19	(2 angka taksiran)	
<u>9,3</u>	+	(1 angka taksiran)
42,7	(1 angka taksiran)	

b.  $121.234,3233 \text{ s} - 2.563,98 \text{ s} = 118.670,34 \text{ s}$

**3) Perkalian dan Pembagian Angka Penting**

Operasi perkalian dan pembagian mengikuti aturan sebagai berikut.

Jumlah angka penting pada hasil akhir harus mengikuti jumlah angka penting yang paling sedikit.

Untuk perkalian dan pembagian angka penting dengan angka eksak, hasil akhir mengikuti jumlah angka penting tersebut.

Perhatikan contoh berikut.

**Contoh**

Dengan menggunakan aturan angka penting, hitunglah soal berikut

- Berapakah luas sebuah bidang berukuran  $0,548 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ ?
- Jika satu kantong pupuk mempunyai massa  $8,31 \text{ kg}$ , berapakah massa 41 kantong pupuk?
- Seorang pedagang buah membeli  $150,6 \text{ kg}$  apel. Apel tersebut dimasukkan ke dalam 15 karung. Berapakah massa setiap karung?

**Penyelesaian:****Jawab:**

- $0,548$  (3 angka penting)  
 $\underline{0,2} \times (1 \text{ angka penting})$   
 $0,1196$  maka hasilnya cukup ditulis  $0,1 \text{ m}^2$  (mempunyai 1 angka penting)
- $8,31$  (3 angka penting)  
 $\underline{41} \times (\text{angka eksak})$   
 $341$  ditulis  $341 \text{ kg}$  (3 angka penting).
- $150,6 : 15 = 10,04$ , ditulis  $10,04 \text{ kg}$  (4 angka penting).

Untuk mengetahui tingkat pemahaman kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut

**Uji Kompetensi**

- Tuliskan dengan notasi ilmiah dan awalan-awalan hasil pengukuran berikut.
  - Jarak rata-rata bumi ke matahari adalah  $149.000.000.000 \text{ m}$ .
  - Tetapan Stefan Boltzman adalah  $0.00000005669 \text{ W/K}^4 \text{ m}^2$ .
  - Bilangan Avogadro adalah  $602.300.000.000.000.000.000 \text{ mol/gram}$ .
  - Nilai viskositas air pada suhu  $0^\circ\text{C}$  adalah  $1.010 \text{ Ns/m}^2$ .
  - Waktu paruh dari  ${}_{84}\text{Po}^{214}$  adalah  $0,00016 \text{ s}$ .
- Tentukan jumlah angka penting hasil-hasil pengukuran di bawah ini.
  - Cepat rambat bunyi pada kaca adalah  $5.170 \text{ m/s}$ .
  - Indeks bias air adalah  $1,333$ .
  - Luas sebuah bidang yang berukuran  $2,74 \text{ m} \times 10,4 \text{ m}$ .

- d. Konstanta Planck adalah  $6,63 \times 10^{-34}$  Js.
  - e. Waktu paruh dari  ${}_{84}\text{Po}^{214}$  adalah 0,00016 s.
  - f. Bilangan Avogadro adalah 602.300.000.000.000.000.000 mol/gram.
  - g. Nilai viskositas air pada suhu  $0^\circ\text{C}$  adalah  $1.010 \text{ Ns/m}^2$ .
3. Pada perlombaan lari estafet, satu tim terdiri dari 4 orang. Pelari pertama memerlukan waktu 18,45 s untuk sampai di pelari ke dua. Pelari kedua memerlukan waktu 20,2 s untuk sampai di pelari ketiga. Pelari ketiga memerlukan waktu 19,39 s untuk sampai di pelari keempat, dan pelari terakhir memerlukan waktu 17,33 s untuk sampai di garis finish. Berapa waktu yang dibutuhkan pada perlombaan lari estafet tersebut? (Gunakan aturan angka penting).
  4. Seorang ibu membeli beberapa perhiasan emas. Ia membeli gelang 6,38 g, cincin 3,768 g, dan kalung 10,5 g. Berapa gram emas yang telah dibeli ibu tersebut?
  5. Sebuah balok mempunyai panjang 1,54 m, lebar 0,643 m, dan tinggi 0,6 m. Berapakah volume balok tersebut?
  6. Lengkapilah titik-titik di bawah ini.
    - a.  $1000 \text{ m} = \dots \text{ cm} = \dots \text{ dm} = \dots \text{ dam} = \dots \text{ hm} = \dots \text{ km}$ .
    - b.  $2 \times 10^3 \text{ g} = \dots \text{ mg} = \dots \text{ kg} = \dots \text{ hg}$ .
    - c.  $1 \text{ cm}^2 = \dots \text{ mm}^2 = \dots \text{ dm}^2 = \dots \text{ km}^2$ .
    - d. Untuk  $V = \text{volt}$ ,  $1 \text{ PV} = \dots \text{ TV} = \dots \text{ GV} = \dots \text{ MV} = \dots \text{ kV} = \dots \text{ V}$ .
    - e.  $1 \text{ cm} = \dots \text{ dm} = \dots \text{ mm} = \dots \mu\text{m} = \dots \text{ nm} = \dots \text{ pm} = \dots \text{ am}$ .

## E. Pengukuran

**Pengukuran** adalah membandingkan sesuatu yang dapat diukur (besaran) dengan sesuatu yang ditetapkan sebagai patokan (satuan). Dari materi yang telah kalian pelajari pada subbab sistem satuan internasional, kalian telah mengenal satuan standar dari setiap besaran pokok.

Untuk mengukur suatu besaran fisika, kalian dapat menggunakan satu instrumen atau lebih. Dalam menggunakan instrumen, kalian harus dapat memilih dan merangkai alat ukur atau instrumen tersebut dengan benar. Selain itu, kalian juga dituntut untuk dapat membaca nilai atau skala yang ditunjukkan oleh instrumen dengan benar. Dengan memilih alat yang sesuai, merangkai alat dengan benar, dan cara membaca skala dengan benar, kalian bisa meminimalkan kesalahan dalam pengukuran.

Selain faktor dari orang yang mengukur, ketelitian alat ukur atau instrumen juga mempengaruhi hasil pengukuran. Ketelitian alat ukur atau instrumen dijamin sampai pada persentase tertentu dari skala penuh. Ketelitian alat ukur terkadang menyebabkan hasil pengukuran mengalami penyimpangan dari yang sebenarnya. Batas-batas dari penyimpangan ini disebut dengan **kesalahan batas**. Apa sajakah kesalahan-kesalahan dalam pengukuran? Bagaimana kesalahan tersebut dapat terjadi?

## 1. Kesalahan dalam Pengukuran

Dalam pengukuran besaran fisis menggunakan alat ukur atau instrumen, kalian tidak mungkin mendapatkan nilai benar. Namun, selalu mempunyai ketidakpastian yang disebabkan oleh kesalahan-kesalahan dalam pengukuran. Kesalahan dalam pengukuran dapat digolongkan menjadi kesalahan umum, kesalahan sistematis, dan kesalahan acak. Berikut akan kita bahas macam-macam kesalahan tersebut.

### a. Kesalahan Umum

Kesalahan yang dilakukan oleh seseorang ketika mengukur termasuk dalam kesalahan umum. Kesalahan umum yaitu kesalahan yang disebabkan oleh pengamat. Kesalahan ini dapat disebabkan karena pengamat kurang terampil dalam menggunakan instrumen, posisi mata saat membaca skala yang tidak benar, dan kekeliruan dalam membaca skala. Perhatikan Gambar 1.6.

### b. Kesalahan Sistematis

Kesalahan yang disebabkan oleh kesalahan alat ukur atau instrumen disebut kesalahan sistematis. Kesalahan sistematis dapat terjadi karena:

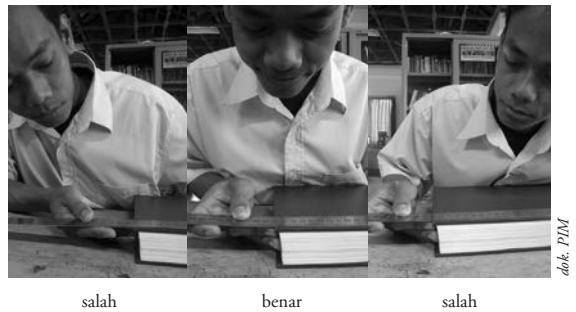
- 1) Kesalahan titik nol yang telah bergeser dari titik yang sebenarnya.
- 2) Kesalahan kalibrasi yaitu kesalahan yang terjadi akibat adanya penyesuaian pembubuhan nilai pada garis skala saat pembuatan alat.
- 3) Kesalahan alat lainnya. Misalnya, melemahnya pegas yang digunakan pada neraca pegas sehingga dapat memengaruhi gerak jarum penunjuk.

### c. Kesalahan Acak

Selain kesalahan pengamat dan alat ukur, kondisi lingkungan yang tidak menentu bisa menyebabkan kesalahan pengukuran. Kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh kondisi lingkungan disebut kesalahan acak. Misalnya, fluktuasi-fluktuasi kecil pada saat pengukuran  $e/m$  (perbandingan muatan dan massa elektron). Fluktuasi (naik turun) kecil ini bisa disebabkan oleh adanya gerak Brown molekul udara, fluktuasi tegangan baterai, dan kebisingan (*noise*) elektronik yang bersifat acak dan sukar dikendalikan.

## 2. Ketidakpastian Pengukuran

Kesalahan-kesalahan dalam pengukuran menyebabkan hasil pengukuran tidak bisa dipastikan sempurna. Dengan kata lain, terdapat suatu ketidakpastian dalam pengukuran. Dalam penyusunan laporan hasil praktikum fisika, hasil pengukuran yang kalian lakukan harus dituliskan sebagai:



Gambar 1.6 Posisi mata saat membaca skala yang salah dan benar.



$$x = x_0 \pm \Delta x$$

**Keterangan:**

$x$  = hasil pengamatan

$x_0$  = pendekatan terhadap nilai benar.

$\Delta x$  = nilai ketidakpastian.

Arti dari penulisan tersebut adalah hasil pengukuran ( $x$ ) yang benar berada di antara  $x - \Delta x$  dan  $x + \Delta x$ . Penentuan  $x_0$  dan  $\Delta x$  tergantung pada pengukuran tunggal atau pengukuran ganda atau berulang.

#### a. Ketidakpastian dalam Pengukuran Tunggal

Jika mengukur panjang meja dengan sebuah penggaris, kalian mungkin akan mengukurnya satu kali saja. Pengukuran yang kalian lakukan ini disebut pengukuran tunggal. Dalam pengukuran tunggal, pengganti nilai benar ( $x_0$ ) adalah nilai pengukuran itu sendiri.

Apabila kalian perhatikan, setiap alat ukur atau instrumen mempunyai skala yang berdekatan yang disebut **skala terkecil**. Nilai ketidakpastian ( $\Delta x$ ) pada pengukuran tunggal diperhitungkan dari skala terkecil alat ukur yang dipakai. Nilai dari ketidakpastian pada pengukuran tunggal adalah setengah dari skala terkecil pada alat ukur.

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \text{skala terkecil}$$

#### b. Ketidakpastian dalam Pengukuran Berulang

Dalam praktikum fisika, terkadang pengukuran besaran tidak cukup jika hanya dilakukan satu kali. Ada kalanya kita mengukur besaran secara berulang-ulang. Ini dilakukan untuk mendapatkan nilai terbaik dari pengukuran tersebut. Pengukuran berulang adalah pengukuran yang dilakukan beberapa kali atau berulang-ulang.

Dalam pengukuran berulang, pengganti nilai benar adalah nilai rata-rata dari hasil pengukuran. Jika suatu besaran fisis diukur sebanyak  $N$  kali, maka nilai rata-rata dari pengukuran tersebut dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

**Keterangan:**

$\bar{x}$  = nilai rata-rata

$\sum x_i$  = jumlah keseluruhan hasil pengukuran

$N$  = jumlah pengukuran

Nilai ketidakpastian dalam pengukuran berulang dinyatakan sebagai simpangan baku, yang dapat dicari dengan rumus:

$$s_y = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N - 1}}$$

**Keterangan:**

$s_y$  = simpangan baku.

Dengan adanya ketidakpastian dalam pengukuran, maka tingkat ketelitian hasil pengukuran dapat dilihat dari ketidakpastian relatif. Ketidakpastian relatif diperoleh dari hasil bagi antara nilai ketidakpastian ( $\Delta x$ ) dengan nilai benar dikalikan dengan seratus persen.

$$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

Ketidakpastian relatif dapat digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian pengukuran. Semakin kecil nilai ketidakpastian relatif maka semakin tinggi ketelitian pengukuran. Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Andi mengukur massa benda dengan menggunakan neraca yang mempunyai skala terkecil 0,1 gram. Jika hasil pengamatan Andi adalah 3,5 gram, bagaimana Andi harus menuliskan hasil pengukurannya?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $x = 3,5$  gram.

skala terkecil = 0,1 gram.

**Ditanyakan:** penulisan hasil pengukuran

**Jawab:**

Dengan skala terkecil 0,1 gram berarti nilai ketidakpastiannya ( $\Delta x$ ) adalah:

( $\Delta x$ ) =  $\frac{1}{2}$  skala terkecil

=  $\frac{1}{2}$  (0,1)

= 0,05 gram.

Jadi, hasil pengukuran Andi harus ditulis ( $3,5 \pm 0,05$ ) gram.

2. Arman mendapat tugas untuk mengukur suhu air yang sedang mendidih. Ia melakukan pengukuran sebanyak 5 kali dan hasilnya antara lain, 100,4°C; 100,5°C; 100,1°C; 100,8°C; dan 100,2°C. Bagaimanakah Arman harus melaporkan hasil pengukurannya? Tulis juga nilai ketidakpastiannya.

**Jawab:**

Data hasil pengukuran Arman dapat dibuat dalam tabel sebagai berikut.

No	$T_i$	$T_i^2$
1	100,4	10.080,16
2	100,5	10.100,25
3	100,1	10.020,01
4	100,8	10.160,64
5	100,2	10.040,04
$\Sigma$	502	50401

Dari tabel diperoleh,  $N = 5$ ,  $\Sigma T_i = 502$ , dan  $\Sigma T_i^2 = 50.401$

Suhu rata-rata ( $\bar{T}$ ) sebagai berikut.

$$\bar{T} = \frac{\Sigma T_i}{N} = \frac{502}{5} = 100,04$$

Ketidakpastian suhu ( $\Delta T$ ) dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta T = S_T &= \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \Sigma T_i^2 - (\Sigma T_i)^2}{N - 1}} \\ &= \frac{1}{5} \sqrt{\frac{5(50.401) - (502)^2}{4}} \\ &= \frac{1}{5} \sqrt{0,25} \\ &= 0,1 \end{aligned}$$

Jadi, hasil pengukuran suhu yang dilakukan Arman dapat dituliskan ( $100,4 \pm 0,1$ )°C

Untuk mengetahui tingkat pemahaman materi kalian, kerjakanlah *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Suatu hari Arman mengukur panjang meja dengan menggunakan penggaris yang mempunyai skala terkecil 1 mm. Berapakah nilai ketidakpastian pengukuran yang dilakukan Arman? Bagaimana seharusnya Arman menuliskan hasil pengukurannya jika panjang meja 78,5 cm?
2. Budi melakukan pengukuran kuat arus listrik sebanyak 10 kali. Ia mendapatkan data sebagai berikut: 2,9 A; 2,5 A; 2,6 A; 2,8 A; 2,4 A; 2,5 A; 2,7 A; 2,8 A; 2,6 A dan 2,4 A. Bagaimana Budi harus melaporkan hasil pengukurannya?
3. Percobaan bandul matematis dapat digunakan untuk mencari nilai percepatan gravitasi. melalui rumus periode bandul sederhana yaitu:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , dengan  $T$  dalam sekon, dan  $l$  dalam meter. Dari hasil percobaan diperoleh data sebagai berikut (lihat tabel).

No	$l$	$T$
1	0,7	1,65
2	0,8	1,78
3	0,9	1,85
4	1,0	1,90
5	1,1	2,00

Berapakah nilai  $g$  (percepatan gravitasi)? Bagaimana pula melaporkan hasil percobaannya?

## F. Pengukuran dan Alat Ukur Panjang, Massa, dan Waktu

Panjang, massa dan waktu merupakan besaran yang dijadikan acuan dalam penerapan sistem MKS dan sistem CGS. Agar kalian lebih menguasai ketiga besaran ini, pelajirlah materi berikut dengan sungguh-sungguh.

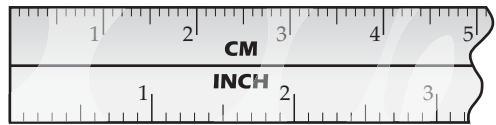
### 1. Pengukuran dan Alat Ukur Panjang

Untuk mengukur panjang benda, kalian bisa menggunakan alat ukur seperti tongkat, kaki, mistar atau penggaris, jangka sorong, dan mikrometer sekrup. Pada materi berikut, kalian akan mempelajari cara menggunakan mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.

#### a. Mistar atau Penggaris

Mistar atau penggaris biasa kita gunakan untuk mengukur panjang benda yang tidak terlalu panjang. Misalnya mengukur panjang meja, buku, pensil, dan sebagainya. Cobalah kalian amati mistar atau penggaris yang kalian miliki. Berapakah panjang mistar tersebut? Berapakah skala terkecilnya?

Perhatikan Gambar 1.7. Mistar yang kalian miliki mempunyai skala terkecil 1 mm sehingga nilai ketidakpastiannya ( $\Delta x$ ) adalah  $\frac{1}{2} \times$  skala terkecil atau 0,5 mm atau 0,05 cm



Gambar 1.7 Alat ukur mistar mempunyai skala terkecil 1 mm.

Misalkan kalian mengukur panjang buku dengan menggunakan mistar. Setelah diperhatikan, ternyata ujung buku berada pada angka 20,8 cm. Bagaimana kalian menuliskan hasil pengukuran kalian? Hasil pengukuran buku dengan mistar tersebut, dapat dituliskan:

$$x = x \pm \Delta x$$

$$x = (20,80 \pm 0,05) \text{ cm}$$

## b. Jangka sorong

Untuk mengukur diameter suatu benda misalnya pensil, kelereng, gelas, botol, dan sebagainya, baik diameter dalam maupun diameter luar, serta untuk mengukur kedalaman suatu benda, kalian dapat menggunakan jangka sorong. Perhatikan gambar 1.8.



dok. PIM

Gambar 1.8 Kegunaan jangka sorong untuk mengukur diameter dalam dan kedalaman botol.

Jangka sorong mempunyai dua bagian terpenting yaitu:

- 1) *Rahang tetap*, memiliki skala panjang yang disebut *skala utama*.
- 2) *Rahang sorong*, memiliki skala yang lebih teliti yang disebut *skala nonius* atau *skala vernier*. Skala nonius ini panjangnya 9 mm yang terbagi menjadi 10 skala, yang berarti skala terkecilnya 0,1 mm. Perhatikan Gambar 1.9.

Ketidakpastian dari jangka sorong adalah:

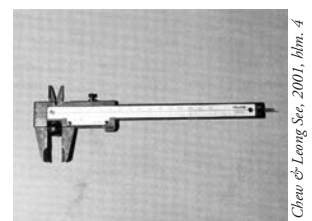
$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \text{skala terkecil}$$

$$= \frac{1}{2} (0,1) = 0,05 \text{ mm} = 0,005 \text{ cm}$$

## Mozaik

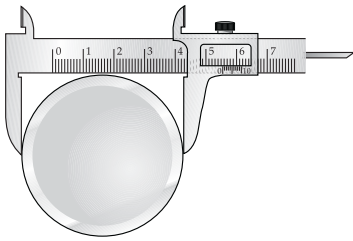
Tentara romawi kuno diajarkan untuk berbaris dengan irama dan langkah khusus. Mereka menghitung jumlah langkah perjalanan dari kota ke kota lain. Setiap seribu langkah mereka beristirahat dan menandainya dengan batu. Tanda-tanda ini selanjutnya menjadi satuan standar untuk mengukur panjang. Bahasa latin untuk 1000 adalah mil (*mille*). 1 mil panjangnya kira-kira sama dengan 5.280 kaki

Wiese, Jim, 2004, hlm. 39



Chew & Long Sec, 2001, hlm. 4

Gambar 1.9 Jangka sorong dengan skala utama dan skala nonius mempunyai ketelitian sampai dengan 0,1 mm.

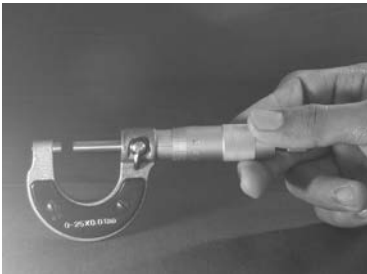


**Gambar 1.10** Hasil pengukuran diameter gelas dengan menggunakan jangka sorong.

Hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong dapat dibaca pada skala utama dan ditambah angka pada skala nonius yang dihitung dari 0 sampai dengan garis skala nonius yang berimpit dengan garis pada skala utama.

Sebagai contoh, ketika kalian mengukur diameter dalam gelas, posisi skala utama dan skala nonius seperti pada gambar 1.10. Dari gambar tersebut, skala utama menunjukkan angka 5,5 cm. Skala nonius yang berimpit dengan skala utama menunjukkan angka 4, yang berarti nilainya  $4 (0,1) \text{ mm} = 0,4 \text{ mm}$  atau  $0,04 \text{ cm}$ . Jadi, hasil pengukurannya adalah  $5,5 \text{ cm} + 0,04 \text{ cm} = 5,54 \text{ cm}$ . Hasil pengukuran diameter gelas dituliskan  $(5,54 \pm 0,05) \text{ mm}$ .

### c. Mikrometer sekrup



**Gambar 1.11** Mikrometer sekrup terdiri dari skala utama dan skala putar dengan skala terkecil 0,01 mm.

Untuk mengukur ketebalan benda-benda yang relatif tipis, kalian harus menggunakan mikrometer sekrup. Seperti halnya jangka sorong, mikrometer sekrup juga terdiri dari skala utama dan skala nonius. Skala nonius pada mikrometer sekrup dapat berputar, sehingga sering disebut **skala putar**. Skala ini terdiri atas angka 0 sampai dengan 50. Satu putaran pada skala ini menyebabkan skala utama bergeser  $0,5 \text{ mm}$ . Satu skala mempunyai ukuran  $0,01 \text{ mm}$  yang juga merupakan skala terkecil dari mikrometer sekrup.

Nilai ketidakpastian mikrometer sekrup adalah:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{1}{2} \times \text{skala terkecil} \\ &= \frac{1}{2} \times (0,01) = 0,005 \text{ mm} = 0,0005 \text{ cm}\end{aligned}$$

Bagaimana cara membaca hasil pengukuran dengan mikrometer sekrup? Kita ambil contoh, jika skala utama menunjukkan angka  $8,5 \text{ mm}$ , dan skala nonius menunjukkan angka 40 yang berarti nilainya  $0,01 \times 40 = 0,40 \text{ mm}$ , maka hasil pengukurannya adalah  $8,5 \text{ mm} + 0,40 \text{ mm} = 8,90 \text{ mm}$ . Hasil pengukuran ini bisa kalian tuliskan  $(8,90 \pm 0,005) \text{ mm}$ .

Kalian ingin tahu lebih banyak tentang cara menggunakan mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup? Lakukanlah *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen

### Mengukur Panjang Benda

#### A. Dasar Teori

Alat ukur besaran fisika memiliki karakteristik sendiri-sendiri. Untuk mengukur besaran panjang dapat digunakan mistar atau penggaris, jangka sorong, dan mikrometer sekrup. Mistar atau penggaris digunakan untuk mengukur panjang suatu benda. Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter. Mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur ketebalan suatu benda. Alat untuk mengukur besaran panjang tersebut memiliki tingkat ketelitian yang berbeda-beda.

### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan kegiatan ini kalian diharapkan dapat:

1. Melakukan pengukuran panjang dengan menggunakan berbagai alat ukur.
2. Menyelidiki ketelitian berbagai alat ukur panjang.
3. Melaporkan hasil pengukurannya dengan kaidah penulisan laporan yang benar.

### C. Alat dan Bahan

- |             |                       |
|-------------|-----------------------|
| 1. Buku     | 5. Mistar             |
| 2. Pensil   | 6. Jangka sorong      |
| 3. Kelereng | 7. Mikrometer sekrup. |
| 4. Botol    |                       |

### D. Langkah Kerja

1. Ukurlah panjang buku dan pensil menggunakan mistar. Lakukanlah masing-masing satu kali pengukuran.
2. Ukurlah tebal buku dan tebal kertas sampul buku dengan menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup. Lakukanlah masing-masing 3 kali pengukuran.
3. Ukurlah diameter dalam botol dan diameter luar, diameter pensil, dan diameter kelereng menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup. Lakukanlah masing-masing 3 kali pengukuran.

### E. Pembahasan

1. Mengapa ketika kalian mengukur panjang buku dan pensil tidak menggunakan jangka sorong dan mikrometer sekrup?
2. Mengapa kalian tidak menggunakan mistar untuk mengukur tebal sampul buku, diameter pensil, diameter botol, dan diameter kelereng?
3. Alat manakah yang mempunyai ketelitian paling baik? Apa alasan kalian?
4. Kesimpulan apa yang kalian dapatkan dari hasil percobaan ini?  
Tuliskan laporan kalian sesuai aturan penulisan laporan yang baik dan benar. Kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

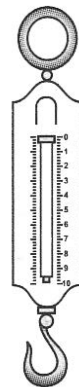
## 2. Pengukuran dan Alat Ukur Massa

Untuk mengukur massa benda, kita dapat menggunakan timbangan. Timbangan dalam fisika sering disebut neraca. Ada beberapa macam neraca, antara lain neraca pegas, neraca sama lengan, neraca O Hauss atau neraca tiga lengan, neraca lengan gantung, dan neraca duduk.

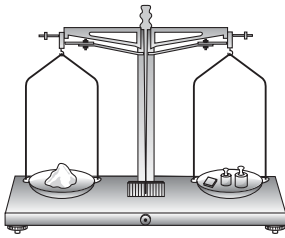
### a. Neraca Pegas

Neraca pegas sering disebut *dinamometer* berfungsi untuk mengukur massa dan atau berat benda. Neraca ini mempunyai dua skala, yaitu skala N (newton) untuk mengukur berat benda dan skala g (gram) untuk mengukur massa benda. Perhatikan gambar 1.12.

Sebelum menggunakan neraca pegas kalian harus menentukan posisi angka 0 terlebih dahulu dengan memutar sekrup yang ada di atasnya, baru kemudian menggantungkan benda pada pengait.



Gambar 1.12 Neraca pegas dapat digunakan untuk mengukur massa benda sekaligus berat benda.



**Gambar 1.13** Neraca sama lengan biasa digunakan untuk menimbang berat emas.



**Gambar 1.14** Neraca O Hauss sering digunakan untuk mengukur massa benda di laboratorium.

### b. Neraca Sama Lengan

Neraca sama lengan biasa digunakan untuk menimbang emas. Neraca ini mempunyai dua piringan. Satu piringan sebagai tempat beban dan satu piringan lagi sebagai tempat anak timbangan. Dalam keadaan seimbang berat beban sama dengan berat anak timbangan. Perhatikan gambar 1.13.

### c. Neraca O Hauss

Neraca O Hauss terdiri dari tiga lengan, sehingga sering disebut juga neraca tiga lengan. Neraca ini mempunyai tiga buah lengan, yaitu lengan pertama yang berskala ratusan gram, lengan kedua yang berskala puluhan gram, dan lengan ketiga yang berskala satuan gram. Neraca ini mempunyai ketelitian sampai dengan 0,1 gram.

Kalian ingin tahu lebih banyak tentang penggunaan neraca pegas, neraca sama lengan, dan neraca O Hauss? Lakukanlah *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen

### Mengukur Massa Benda

#### A. Dasar Teori

Untuk mengukur massa suatu benda dapat menggunakan beberapa alat yang dalam fisika disebut dengan neraca. Neraca yang sering dipakai pada percobaan fisika adalah neraca pegas, neraca sama lengan, dan neraca O Hauss. Masing-masing neraca mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dan juga mempunyai tingkat ketelitian yang berbeda-beda pula.

#### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan kegiatan ini, kalian diharapkan dapat:

1. Menggunakan alat ukur massa dengan benar.
2. Mengetahui tingkat ketelitian alat yang digunakan.
3. Melaporkan hasil pengukuran dengan kaidah penulisan laporan yang baik dan benar.

#### C. Alat dan Bahan

1. Neraca pegas
2. Neraca sama lengan
3. Neraca O Hauss atau neraca tiga lengan
4. Anak timbangan dari 0,1 gram sampai 1 kg
5. Uang logam lima ratusan 10 buah
6. Batu yang agak besar 10 buah.

#### D. Langkah Kerja

1. Ukurlah massa 5 buah uang logam menggunakan neraca pegas, neraca sama lengan dan neraca O Hauss. Lakukanlah masing-masing 3 kali pengukuran.

2. Ulangilah langkah nomor 1 dengan menambahkan 5 buah uang logam sisa.
3. Ulangilah langkah nomor 1 dan 2 untuk mengukur massa batu.

#### E. Pembahasan

1. Mengapa ketika kalian melakukan langkah nomor 1 dan 2 dengan menggunakan neraca pegas, hasilnya tidak dapat dilihat? Jelaskan.
2. Adakah perbedaan hasil dari langkah nomor 1 sampai 3 dengan menggunakan ketiga alat tersebut? Apakah perbedaannya?
3. Dari ketiga alat yang kalian gunakan, manakah yang mempunyai tingkat ketelitian tertinggi?
4. Apa yang dapat kalian simpulan dari percobaan ini?  
Buatlah laporan hasil percobaan kalian dengan memperhatikan kaidah penulisan laporan yang baik dan benar, dan kumpulkan kepada guru kalian.

### 3. Pengukuran dan Alat Ukur Waktu.

Alat untuk mengukur waktu sering kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Bisakah kalian menyebutkan dan menggunakannya? Pada zaman dahulu, sebelum ditemukan jam, orang menentukan waktu dengan melihat bayangan dari benda. Sekarang, alat untuk mengukur waktu dapat kita jumpai dengan mudah, antara lain jam tangan atau arloji, *stop watch*, dan pengukur waktu digital.

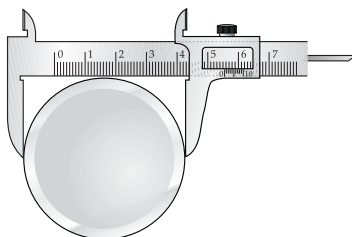


Gambar 1.15 Berbagai alat yang digunakan untuk ukur waktu.

Untuk mengetahui kompetensi yang kalian miliki setelah mempelajari materi di depan, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

#### Uji Kompetensi

1. Ketika Budi mengukur diameter sebuah botol, ia melihat skala utama menunjuk angka 4,1 dan skala nonius yang berimpit dengan skala utama menunjuk angka 5. Berapakah hasil pengukuran Budi?
2. Arman mengukur diameter kelereng. Hasil pengukuran tersebut terlihat pada gambar berikut. Berapakah hasil pengukuran tersebut?



#### Mozaiik

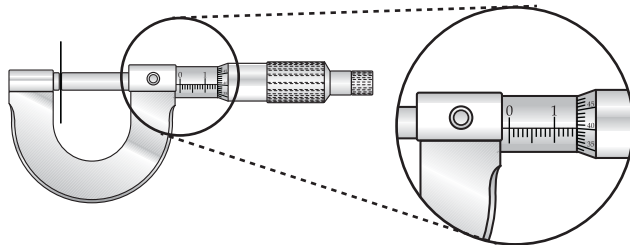


John Harrison (1693-1776) adalah anak seorang tukang kayu. Sebelum berusia 20 tahun, ia membuat jam bandul pertama yang dibuat dari kayu. Bersama adiknya, James, pada tahun 1720-an ia membuat jam menara untuk taman Brocklesby, Inggris yang hingga kini masih berjalan baik. Jam tersebut memenangkan hadiah sebesar 20.000 pounsterling pada tahun 1762.

Mary & John Gribbin, 2000, hlm. 19



3. Ketika Susi mengukur ketebalan sebuah buku dengan mikrometer sekrup, ia melihat skala utama menunjuk angka 21 dan skala nonius yang berimpit dengan skala utama menunjuk angka 13, berapakah hasil pengukuran Susi?
4. Abdullah ingin mengukur ketebalan uang logam yang dimilikinya. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada gambar berikut.



Berapakah hasil pengukuran tersebut?

5. Pada suatu perlombaan lari jarak pendek, Ari menempati urutan pertama dengan waktu lari tampak pada gambar berikut. Berapakah waktu lari Ari?



## Inti Sari

1. Besaran dalam fisika dapat dibedakan menjadi besaran pokok dan besaran turunan.
  - a. Besaran pokok adalah besaran yang tidak tergantung dengan besaran-besaran yang lain.
  - b. Besaran turunan adalah besaran yang tersusun dari beberapa besaran pokok.
2. Dimensi adalah cara suatu besaran tersusun atas besaran-besaran pokok.
3. Pengukuran adalah membandingkan suatu besaran dengan sesuatu yang ditetapkan sebagai patokan (satuan).
4. Kesalahan pengukuran ada tiga macam yaitu:
  - a. kesalahan umum yang disebabkan oleh pengamat.
  - b. kesalahan sistematis yang disebabkan oleh keadaan alat yang digunakan.
  - c. kesalahan acak yang disebabkan oleh faktor lingkungan.
5. Ketidakpastian pada pengukuran tunggal dapat dirumuskan sebagai:
 
$$\Delta x = \frac{1}{2} \text{ skala terkecil}$$
6. Ketidakpastian dalam pengukuran berulang dapat dinyatakan sebagai simpangan

baku ( $s_y$ ) dari nilai rata-rata yang dirumuskan sebagai:

$$s_y = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

7. Alat ukur panjang antara lain mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.

8. Alat ukur massa benda antara lain neraca pegas, neraca sama lengan, dan neraca O Hauss atau neraca tiga lengan.
9. Alat ukur waktu antara lain jam atau arloji, *stop watch*, dan pengukur waktu digital.

## Telaah Istilah

**Angka penting** Semua angka yang diperoleh dari hasil pengukuran

**Besaran** Sesuatu yang dapat diukur dan mempunyai satuan

**CGS** Suatu sistem satuan internasional yang didasarkan pada satuan centi, gram, dan sekon

**Dimensi** Cara suatu besaran tersusun atas besaran-besaran pokok

**Mikrometer Sekrup** alat untuk mengukur ketebalan suatu bahan

**MKS** Suatu sistem satuan internasional yang didasarkan pada satuan meter, kilogram, dan sekon

**Pengukuran** Kegiatan membandingkan sesuatu yang dapat diukur (besaran) dengan sesuatu yang ditetapkan sebagai patokan (satuan)

**Satuan** Ukuran dari suatu besaran

**SI** Suatu sistem satuan internasional yang didasarkan kepada keputusan *Conference Generale Poids et Measure*

## Ulangan Harian

### A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

1. Dari kelompok besaran di bawah ini, yang merupakan kelompok besaran pokok yaitu . . . .
  - a. panjang, waktu, daya, massa
  - b. luas, jumlah zat, kuat arus listrik
  - c. jumlah zat, kuat arus listrik, massa
  - d. massa, tekanan, jumlah zat
  - e. kuat arus listrik, tegangan, kecepatan
2. Dari kelompok satuan di bawah ini, yang merupakan kelompok satuan dari besaran pokok dalam SI yaitu . . . .
  - a. joule, newton, meter, sekon
  - b. watt, kandela, volt, gram
  - c. volt, meter/sekon, joule, ampere
  - d. meter, ampere, kandela, sekon
  - e. kandela, ampere, sekon, newton
3. Dari kelompok besaran di bawah ini, yang merupakan kelompok besaran turunan adalah . . . .
  - a. panjang, waktu, daya, massa
  - b. luas, jumlah zat, kuat arus listrik
  - c. jumlah zat, kuat arus listrik, massa
  - d. berat, tekanan, gaya
  - e. kuat arus listrik, tegangan, kecepatan
4. Gaya didefinisikan dengan hasil kali percepatan dengan massa, maka dimensi gaya adalah . . . .
  - a.  $[M][L][T]^{-2}$
  - b.  $[M][L]$
  - c.  $[M][L][T]^{-1}$
  - d.  $[M][L]^{-1}[T]$
  - e.  $[M][L]^2[T]^{-1}$
5. Muatan listrik dirumuskan sebagai hasil kali antara kuat arus listrik dengan waktu.

Dimensi dari muatan listrik adalah . . .

- $[Q][T]$
- $[Q][T]^{-1}$
- $[Q][L]$
- $[T][L]$
- $[Q][T]^{-2}$

6. Pada pengukuran panjang suatu benda diperoleh hasil 0,1004 m. Banyaknya angka penting dari hasil pengukuran adalah . . .

- 3
- 5
- 4
- 2
- 6

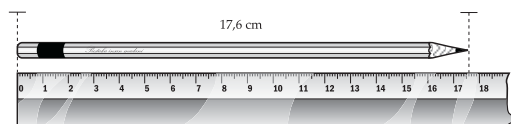
7. Seorang siswa membawa dua buah buku. Setelah ditimbang, massa buku pertama sama dengan massa buku kedua sebesar 0,456 kg dan massa buku ketiga sebesar 0,87 kg. Massa buku yang dibawa siswa tersebut adalah . . . kg.

- 1,7820
- 1,782
- 1,78
- 1,8
- 1,7

8. Tomo mempunyai empat buah bola. Massa dari setiap bola adalah 0,362 kg; 0,436 g; 0,25 g; dan 0,50 g. Massa rata rata keempat bola tomo adalah . . . kg

- 0,43
- 0,42
- 0,41
- 0,39
- 0,37

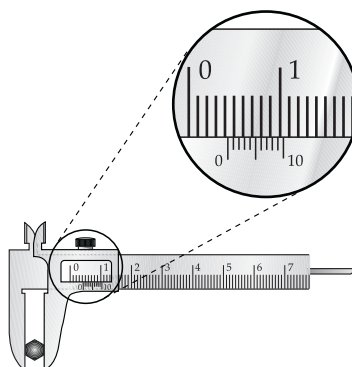
9. Pengukuran panjang sebuah pensil dengan mistar ditunjukkan pada gambar berikut.



Berdasarkan gambar tersebut jika dituliskan dengan nilai ketidakpastiannya maka panjang pensil adalah . . . cm.

- $17,6 \pm 0,05$
- $17,6 \pm 0,005$
- $17,5 \pm 0,005$
- $17,5 \pm 0,05$
- $17,5 \pm 0,5$

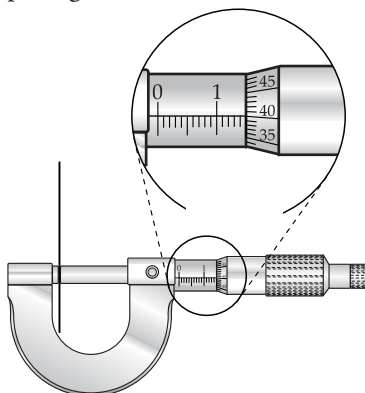
10. Pengukuran diameter sebuah peluru dengan jangka sorong ditunjukkan pada gambar berikut.



Berdasarkan gambar tersebut, jika dituliskan dengan nilai ketidakpastiannya, diameter peluru adalah . . . mm.

- $3,9 \pm 0,05$
- $3,9 \pm 0,005$
- $4,0 \pm 0,5$
- $4,1 \pm 0,05$
- $4,1 \pm 0,005$

11. Pengukuran tebal satu lembar kertas karton dengan mikrometer sekrup ditunjukkan pada gambar berikut.



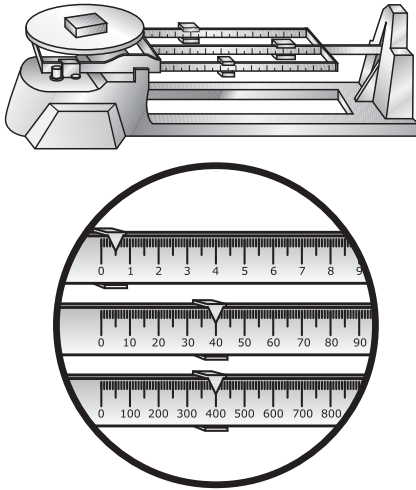
Berdasarkan gambar tersebut, jika dituliskan dengan nilai ketidakpastiannya, tebal kertas karton tersebut adalah . . . mm.

- $1,50 \pm 0,005$
- $1,50 \pm 0,05$
- $1,50 \pm 0,5$
- $1,54 \pm 0,005$
- $1,54 \pm 0,05$

12. Mikrometerskrup dapat mengukur ketebalan suatu benda dengan ketelitian . . .

- 0,005 mm
- 0,05 mm
- 0,005 cm
- 0,05 cm
- 0,5 cm

13. Pengukuran massa benda dengan neraca tiga lengan atau neraca O Hauss, ditunjukkan pada gambar berikut.



Berdasarkan gambar tersebut, maka massa benda adalah ... gram.

- 240,5
  - 340,6
  - 440,5
  - 540,5
  - 550,7
14. Pada waktu praktikum fisika, Andi mengukur massa benda sebanyak 5 kali. Hasil pengukuran Andi adalah 334,7 g; 334,9 g; 334,2 g; 333,9 g; 334,7 g. Dalam laporan, massa benda harus dituliskan ....
- $(334,48 \pm 0,16)$  g
  - $(334,48 \pm 0,18)$  g
  - $(334,5 \pm 0,16)$  g
  - $(334,5 \pm 0,18)$  g
  - $(335,48 \pm 0,25)$  g
15. Jarak rata-rata bumi ke bulan adalah 348.000.000 m. Jika dituliskan dengan notasi ilmiah, jarak bumi ke bulan adalah ... m.
- $34,8 \times 10^8$
  - $34,8 \times 10^6$
  - $3,48 \times 10^9$
  - $3,48 \times 10^8$
  - $3,48 \times 10^7$

## B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

- Apakah yang dimaksud besaran pokok dan besaran turunan?
- Apakah yang menjadi satuan standar dari setiap besaran pokok?
- Dengan mencari dari pelbagai buku fisika, tentukan dimensi dari daya, muatan listrik, viskositas (kekentalan), dan medan listrik.
- Tuliskan dengan notasi ilmiah hasil pengukuran berikut.
  - Jarak 1 tahun cahaya adalah 9.460.000.000.000 m.
  - Tetapan Wien adalah 0,0028978 mK.
  - Cepat rambat bunyi pada emas adalah 2.030 m/s.
  - Tegangan permukaan bensin adalah 0,0250 N/m.
- Lengkapilah titik-titik di bawah ini.
  - 1 km = ... hm = ... dam = ... m = ... dm = ... cm = ... mm = ...  $\mu$ m.
  - 1 F = ...  $\mu$ F = ... pF.
  - 1 kA = ... mA = ...  $\mu$ A.
  - 1 km/jam = ... m/jam = ... m/s.
  - 1 cm<sup>2</sup> = ... dm<sup>2</sup> = ... m<sup>2</sup> = ... km<sup>2</sup>.
  - 1 liter = 1 dm<sup>3</sup> = ... cm<sup>3</sup> = ... mm<sup>3</sup> = ... m<sup>3</sup>.
- Nyatakan dalam satuan pokok dan tentukan dimensi dari hasil operasi berikut.
  - $F = ma$ .
  - $E = \frac{I}{R^2}$  ( $I$  = intensitas cahaya,  $R$  = jari-jari bola).
  - $R = \frac{V}{i}$  ( $V$  = beda potensial,  $I$  = kuat arus,  $R$  = hambatan).
- Periode gerak harmonik dapat dicari dari rumus  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  dengan  $k$  adalah konstanta pegas. Tentukanlah dimensi  $k$ .
- Tentukanlah banyaknya angka penting dari data-data di bawah ini.
  - Aminah membeli cincin 2,36 g.
  - Tebal sebuah plat 0,00123 cm.

- c. Pelari mencapai finish dengan catatan waktu 10,0005 s.
  - d. Massa bulan adalah  $7,36 \times 10^{22}$  kg.
  - e. Momen magnet elektron  $9,28 \times 10^{-24}$  J/T.
9. Hitunglah dengan menggunakan aturan angka penting.
- a. Luas lingkaran yang berjari-jari 4,5 cm.
  - b. Volume balok yang berukuran 3,14 dm  $\times$  0,369 dm  $\times$  3,6 dm.
  - c. Keliling persegi panjang yang mempunyai panjang 24,567 cm dan lebar 18,54 cm.
  - d. Panjang sisi miring segitiga siku-siku yang sisi-sisinya 4,56 cm dan 6,3 cm.
- e. Hambatan rangkaian jika diketahui beda potensial 10,32 volt dan arus 0,26 ampere. ( $R = \frac{V}{I}$ )
  - f. Jumlah partikel dalam 3 mol HCl. (jumlah 1 mol zat adalah  $6,023 \times 10^{23}$ ).
10. Arman mengukur massa sebuah batu sebanyak 10 kali. Hasil pengukuran adalah 23,3 g; 22,5 g; 23,6 g; 22,9 g; 24,1 g; 22,7 g; 23,5 g; 24,2 g; 22,8 g; 22,9 g. Bagaimana Arman harus melaporkan hasil pengukuran massa batu? Ingat, tuliskan dengan nilai ketidakpastian pengukurannya.

# B a b II

## Vektor



<http://www.airserv.org/artsmfmedan4>

Pada bulan Desember tahun 2004, saudara kita di Nangroe Aceh Darussalam mengalami peristiwa yang mengoyak hati. Amukan gelombang tsunami telah menghancurkan mimpi-mimpi indah anak negeri yang tidak berdosa. Dengan gerakan yang cepat dan mengerikan, tsunami meluluhlantakkan kota “Serambi Mekah” dalam waktu sekejap. Provinsi yang berada di ujung barat Indonesia tersebut telah kehilangan penduduk sekitar 200 ribu jiwa. Suatu jumlah yang sangat besar akibat amukan gelombang tsunami. Adakah konsep fisika pada kejadian tsunami ini? Dengan mempelajari bab ini, kalian akan mengetahui jawabannya.



Di bab sebelumnya, kalian telah mempelajari besaran dan satuan. Pada bab ini, kita akan mempelajari pembagian besaran berdasarkan arah dan besarnya. Besaran yang dimaksud adalah besaran skalar dan besaran vektor. Vektor inilah yang akan kita pelajari secara khusus.

Setelah mempelajarinya, kalian akan mampu mendefinisikan, menuliskan, dan menggambarkan vektor, serta menjumlahkan dua vektor atau lebih menggunakan metode segitiga, jajargenjang, dan poligon, serta secara analisis. Bukan hanya itu saja, kemampuan menjumlahkan dua vektor yang segaris atau membentuk sudut, secara grafis dan menggunakan rumus kosinus juga perlu dikuasai. Kita juga akan mempelajari cara menguraikan sebuah vektor dalam bidang datar menjadi dua komponen yang saling tegak lurus. Sebagai materi pengayaan, kalian akan dibekali dengan materi perkalian titik dua buah vektor dan perkalian silang dua buah vektor.

## A Pengertian Vektor

Gelombang tsunami dengan volume air yang besar, dalam hitungan menit dapat menempuh jarak yang jauh hingga mencapai puluhan kilometer. Dalam fisika, apabila benda dapat menempuh jarak yang jauh dalam waktu singkat maka benda dikatakan mempunyai kecepatan dan percepatan besar. Dengan percepatan dan massa yang besar menyebabkan gelombang tsunami mempunyai gaya yang besar. Akibatnya, energi yang dimilikinya juga besar. Energi inilah yang menyebabkan gelombang tsunami mampu memusnahkan kota yang begitu indah dalam sekejap mata.

Dari cerita terjadinya tsunami tersebut, kalian dapat menemukan beberapa konsep fisika, antara lain volume, massa, jarak, waktu, kecepatan, percepatan, gaya, dan energi. Untuk mengetahui lebih jauh tentang konsep fisika pada peristiwa tsunami, berdiskusilah dengan teman sebangkumu kalian untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan pada *Eureka* berikut.

### Eureka

Jika kalian mempunyai rekaman terjadinya tsunami, tontonlah bersama teman-teman kalian. Kemudian, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apakah air tersebut mempunyai volume dan massa? Bagaimanakah jarak yang ditempuh air dalam waktu yang singkat?
2. Apakah air yang sedang mengalir mempunyai kelajuan? Apakah air mengalir mempunyai arah? Dari kelajuan dan arah air ini, besaran apakah yang kalian temukan?

3. Saat air sedang mengalir dan menghantam bangunan, besaran apakah yang mendasarinya?
4. Selain besaran fisika yang telah disebutkan, adakah besaran fisika lain yang dapat kalian temukan dari peristiwa tsunami ini? Coba kalian jelaskan.
5. Dari hasil diskusi, kalian telah menemukan beberapa besaran, baik besaran pokok maupun besaran turunan. Cobalah kalian kelompokkan besaran-besaran tersebut berdasarkan besar dan arahnya. Besaran yang hanya punya besar saja menjadi satu kelompok, dan besaran yang mempunyai besar sekaligus arah juga menjadi satu kelompok.

Tuliskan hasil diskusi dan kumpulkan kepada guru kalian.

Dari hasil diskusi pada *Eureka*, kalian telah mengelompokkan besaran-besaran fisika ke dalam dua kelompok berdasarkan besar dan arahnya. Kelompok besaran itu adalah kelompok besaran yang hanya mempunyai besar saja, tetapi tidak mempunyai arah, dan kelompok besaran yang mempunyai besar dan arah.

Dalam fisika, besaran yang hanya mempunyai besar saja dan tidak memiliki arah disebut **besaran skalar**. Sementara besaran yang mempunyai besar dan arah disebut **besaran vektor** atau sering disebut **vektor**. Permasalahannya sekarang, bagaimanakah cara kita menyatakan vektor? Pada subbab ini, kita akan membahas cara menuliskan dan menggambarkan sebuah vektor. Namun sebelum kita mempelajari materi tersebut, ada baiknya kalian perhatikan uraian berikut.

Ketika kalian melihat rekaman terjadinya tsunami, kalian melihat banyak orang berlarian untuk menghindari gelombang. Ada pula orang yang mengendarai sepeda motor dengan kelajuan tinggi. Karena panik, pengemudi sepeda motor tersebut mungkin bergerak dengan kelajuan 70 km/jam atau lebih. Ketika duduk di kelas VII SMP/MTs, kalian telah mengenal konsep kelajuan dan kecepatan.

Dalam fisika, kecepatan merupakan besaran vektor yang mempunyai besar dan arah. Sedangkan kelajuan adalah nilai atau besar dari kecepatan, sehingga tidak mempunyai arah. Ini berarti kecepatan merupakan besaran vektor, sedangkan kelajuan merupakan besaran skalar. Selain kecepatan, masih banyak besaran lain yang termasuk vektor. Contohnya, perpindahan, percepatan, gaya, momentum, usaha, dan kuat arus.

Besaran-besaran fisika mempunyai simbol masing-masing sebagai ciri khasnya. Seperti halnya besaran fisika, vektor juga mempunyai simbol atau notasi yang membedakannya dari besaran skalar. Untuk mengetahui bentuk notasi vektor dan cara menggambarkan vektor dalam fisika, pelajari materi berikut.



## 1. Notasi dan Gambar Vektor

Ketika terjadi tsunami, banyak orang berlarian dari pantai menuju tempat aman untuk menghindari terjangan gelombang air. Orang-orang itu bergerak dan mengalami perpindahan. Perpindahan termasuk besaran vektor. Bagaimanakah kita menyatakan dan menggambarkan perpindahan orang tersebut dengan vektor?



Gambar 2.1 Orang-orang berlarian menjauhi pantai akan mengalami perpindahan.

Perhatikan Gambar 2.1. Misalkan kita menganggap orang-orang tersebut berlarian pada jarak yang lurus, pantai kita beri tanda A, dan tempat berhentinya diberi tanda B. Vektor perpindahan orang-orang tersebut dapat dituliskan dengan dua cara, yaitu:

- Vektor disimbolkan dengan dua huruf besar atau satu huruf yang di atasnya diberi tanda anak panah.

Contoh: vektor perpindahan dari A ke B dapat ditulis sebagai  $\overrightarrow{AB}$ ,  $\vec{a}$ , atau  $\vec{A}$ .

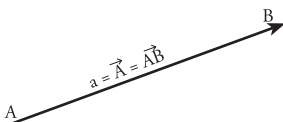
- Vektor disimbolkan dengan dua huruf besar atau satu huruf yang ditebalkan.

Contoh: vektor perpindahan dari A ke B dapat ditulis **AB**, **a**, atau **A**.

Jika kalian menggunakan dua huruf, maka huruf pertama (A) merupakan **titik asal vektor** atau disebut juga pangkal **vektor**. Sementara huruf belakang (B) merupakan **arah vektor** atau **titik terminal** atau **ujung vektor**.

Kalian telah bisa menyatakan suatu vektor dengan notasi vektor. Vektor digambarkan sebagai anak panah. Panjang anak panah menyatakan besar vektor, dan arah anak panah menyatakan arah vektor. Dari cerita di depan, misalnya jarak pantai ke tempat aman sejauh 4 km, dengan 1 cm mewakili 1 km, vektor perpindahan orang dari pantai (A) menuju tempat aman (B) dapat digambarkan seperti gambar 2.2.

Gambar tersebut menyatakan sebuah vektor AB dengan titik A sebagai titik tangkap vektor (pangkal vektor), dan titik B menyatakan ujung vektor (titik terminal). Vektor pada gambar tersebut dapat dituliskan dalam bentuk notasi  $\overrightarrow{AB}$ ,  $\vec{a}$ ,  $\vec{A}$  atau **AB**, **a**, **A**.



Gambar 2.2 Sebuah vektor digambarkan sebagai anak panah atau garis berarah.

Untuk menambah pemahaman kalian, kerjakan *Ekspedisi* berikut.

## Ekspedisi

Gambarkan dan tuliskan notasi vektor dari kejadian berikut. Jangan lupa, gunakan skala yang sesuai.

1. Ari mengendarai sepeda dengan kecepatan 8 km/jam ke arah utara.
2. Ahmad mendorong sebuah kotak dengan gaya 30 N ke arah timur.
3. Sebuah kabel yang membujur dari barat ke timur mengalirkan arus listrik 2 ampere.
4. Sebuah mobil bergerak ke arah barat

dengan percepatan  $10 \text{ m/s}^2$ . Ketika sampai di perempatan jalan, mobil mengerem dengan perlambatan  $5 \text{ m/s}^2$ . (petunjuk: perlambatan sama dengan kecepatan, tetapi arahnya berlawanan).

5. Aminah menimba air dari sumur menggunakan katrol dengan gaya 20 N. Gunakan arah mata angin untuk menentukan arah. Kumpulkan hasil pekerjaan kalian kepada guru.

## 2. Vektor Sejajar dan Berlawanan

Pada saat terjadi gelombang tsunami, banyak orang berlarian menjauhi pantai. Beberapa orang yang berada pada tempat yang sama di pantai tampak menuju tempat aman yang sama. Nah, orang-orang tersebut dikatakan mempunyai perpindahan sama. Vektor perpindahan orang-orang tersebut dapat digambarkan dengan panjang dan arah vektor yang sama. Vektor perpindahan beberapa orang ini dikatakan **vektor sejajar**. Jadi:

**Vektor sejajar** adalah dua vektor atau lebih yang mempunyai arah dan besar yang sama. Sementara itu, dua atau lebih vektor dikatakan berlawanan apabila vektor-vektor tersebut mempunyai besar yang sama, tetapi arahnya berlawanan.

Berdasarkan Gambar 2.3, vektor-vektor yang sejajar adalah vektor  $\vec{c}$  dan  $\vec{d}$ . Sedangkan vektor yang berlawanan adalah vektor  $\vec{b}$  dan  $\vec{c}$  atau vektor  $\vec{b}$  dan  $\vec{d}$ .

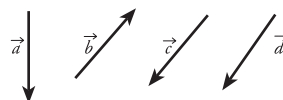
## 3. Besar Vektor

Dari keterangan sebelumnya, kita tahu bahwa selain memiliki arah, vektor juga memiliki besar yang dinyatakan sebagai **besar vektor**. Besar vektor menyatakan nilai dari suatu vektor. Besar vektor dinyatakan dengan simbol huruf yang ditulis miring dan tanpa anak panah di atasnya, atau dituliskan sebagai harga mutlak vektor tersebut.

$$\text{Besar dari } \vec{d} = d = |\vec{d}|$$

Berdasarkan definisinya, besar vektor merupakan besaran skalar dan nilainya selalu positif.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi pada subbab ini, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.



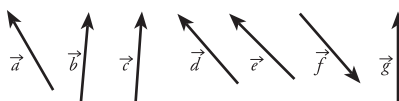
Gambar 2.3 Beberapa contoh vektor.

## Teropong

Harga mutlak dari sebuah bilangan adalah jarak bilangan tersebut ke titik nol tanpa memperdulikan arahnya. Harga mutlak dari  $x$ , atau ditulis  $|x|$  nilainya  $\geq 0$ .  
Artinya,  $|x| = x$   
 $|0| = 0$   
 $|-x| = x$   
Jadi, harga mutlak nilainya selalu positif.

## Uji Kompetensi

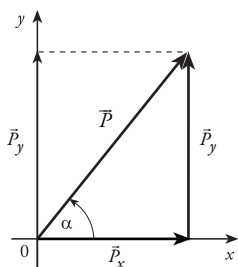
1. Apakah pengertian besaran skalar dan besaran vektor? Berikan masing-masing 8 contoh.
2. Dari pernyataan-pernyataan berikut, pernyataan manakah yang mengandung besaran vektor? Dari pernyataan tersebut, gambarkan dan tuliskan notasi vektornya.
  - a. Ani berjalan ke selatan sejauh 50 meter.
  - b. Budi membawa sekeranjang sampah yang beratnya 1 N.
  - c. Andi mengendarai sepedanya dengan kelajuan 30 km/jam.
  - d. Arus sebesar 1 ampere mengalir dari salah satu ujung penghantar ke ujung lainnya.
3. Perhatikan vektor-vektor pada gambar berikut



Dari vektor-vektor tersebut, pasangan vektor manakah yang sejajar dan berlawanan?



**Gambar 2.4** Tangga yang bersandar di dinding mempunyai bayangan di dinding dan tanah.



**Gambar 2.5** Sebuah vektor  $\vec{P}$  dapat diuraikan menjadi komponen pada sumbu  $x$  ( $\vec{P}_x$ ) dan komponen pada sumbu  $y$  ( $\vec{P}_y$ ).

## B Penguraian Vektor

Penguraian vektor adalah suatu cara menyatakan sebuah vektor dengan dua vektor lain. Untuk membantu kalian dalam memahami cara menguraikan vektor, perhatikan uraian berikut.

Suatu hari Andi memanjat dinding rumahnya dengan menggunakan tangga bambu. Andi meletakkan tangga dengan kemiringan tertentu. Perhatikan Gambar 2.4. Sebelum mulai memanjat, Andi memerhatikan bayangan tangga pada dinding dan tanah. Bayangan tersebut ternyata mirip dengan penguraian vektor yang sedang dipelajari di sekolahnya.

Dari cerita tersebut, apa yang kalian dapatkan? Pada prinsipnya, menguraikan vektor sama dengan mencari bayangan vektor pada dua benda atau lebih yang saling tegak lurus satu sama lain. Penguraian vektor dapat digambarkan pada bidang kartesius. Pada bidang kartesius, sebuah vektor dapat diuraikan pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .

Dari cerita tersebut, jika panjang tangga dinyatakan dengan  $\vec{P}$ , garis yang sejajar dinding rumah sebagai sumbu  $y$ , dan tanah sebagai sumbu  $x$ , maka tangga tersebut memiliki bayangan pada sumbu  $x$  dan pada sumbu  $y$ . Jika bayangan pada sumbu  $x$  dinyatakan dengan  $\vec{P}_x$  dan bayangan pada sumbu  $y$  dinyatakan dengan  $\vec{P}_y$ , dan sudut kemiringan tangga dinyatakan dengan  $\alpha$ , maka tangga dan bayangannya dapat digambarkan seperti Gambar 2.5.

Dari gambar tersebut, kita dapat mencari panjang  $\vec{P}_x$  dan  $\vec{P}_y$ . Kalian masih ingat rumus sinus dan kosinus dari segitiga siku-siku? Dari rumus sinus dan kosinus, kita dapat mencari  $\vec{P}_x$  dan  $\vec{P}_y$  dengan rumus:

$$\vec{P}_x = P \cos \alpha$$

$$\vec{P}_y = P \sin \alpha$$

### Keterangan:

$\vec{P}_x$  = komponen vektor pada sumbu  $x$ .

$\vec{P}_y$  = komponen vektor pada sumbu  $y$ .

$\alpha$  = sudut yang dibentuk vektor dengan sumbu  $x$  positif.

Kalian sudah bisa menguraikan sebuah vektor menjadi dua buah vektor. Sekarang, bagaimanakah cara mencari besar vektor apabila diketahui komponen vektornya? Dengan menggunakan dalil Pythagoras, kita dapat mencari besar vektor, jika diketahui komponen-komponennya menggunakan persamaan berikut.

$$|\vec{P}| = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Lalu, untuk mencari arah vektor, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\tan \alpha = \frac{P_y}{P_x}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right)$$

Nah, untuk membantu kalian memahami materi tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah kapal bergerak dengan kecepatan 15 m/s meninggalkan garis pantai (sumbu  $x$  positif) pada arah  $120^\circ$ . Jika garis yang tegak lurus garis pantai dianggap sebagai sumbu  $y$ , tentukan besar komponen vektor kecepatan pada sumbu  $x$  dan pada sumbu  $y$ .

### Penyelesaian:

#### Diketahui:

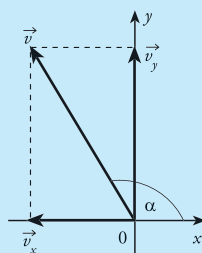
$$\vec{v} = \text{m/s}$$

$$\alpha = 120^\circ$$

Ditanyakan:  $\vec{v}_x$  dan  $\vec{v}_y$

#### Jawab:

Vektor kecepatan tersebut dapat kalian lihat pada gambar berikut.



Untuk mencari  $\vec{v}_x$ , gunakan persamaan,

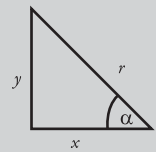
$$\begin{aligned} \vec{v}_x &= v \cos \alpha \\ &= 15 \cos 120^\circ \\ &= 15 \times \left(-\frac{1}{2}\right) \\ &= -7,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

untuk mencari  $\vec{v}_y$ , gunakan persamaan,

$$\begin{aligned} \vec{v}_y &= v \sin \alpha \\ &= 15 \sin 120^\circ \\ &= 15 \times \left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 7,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, komponen kecepatan pada sumbu  $x$  adalah 7,5 m/s, dan komponen kecepatan pada sumbu  $y$  adalah  $-7,5$  m/s.

Pada pelajaran matematika kelas X, kalian akan mempelajari rumus sinus, kosinus, dan tangen dari sudut-sudut segitiga siku-siku. Perhatikan gambar segitiga berikut.



Pada segitiga tersebut berlaku persamaan,

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$x = r \cos \alpha$$

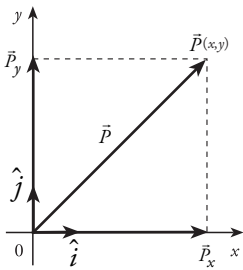
$$y = r \sin \alpha$$

Sebagai pelengkap uraian materi tersebut, kerjakan soal-soal pada Uji Kompetensi berikut.

## Uji Kompetensi

1. Sebuah mobil bergerak lurus sejajar trotoar dengan kecepatan 40 km/jam. Jika trotoar di pinggir jalan kita anggap sumbu  $x$ , dan garis *zebra cross* yang tegak lurus trotoar kita anggap sebagai sumbu  $y$ , gambarkan dan tentukan komponen-komponen kecepatan mobil pada sumbu  $x$  dan  $y$ .
2. Andi menarik sebuah kotak dengan tali. Tali itu membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap tanah. Ia menarik kotak tersebut dengan gaya sebesar 23 N. Jika  $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$  dan  $\cos 30^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3}$ , gambarkan dan tentukan komponen-komponen vektor gaya tersebut pada sumbu  $x$  dan  $y$ .
3. Seorang siswa menggelindingkan sebuah bola dari pojok lantai ruangan berukuran panjang 7 m, lebar 7 m, dan tinggi 3 m. Bola tersebut berhenti tepat di tengah-tengah lantai ruangan tersebut. Berapakah besar perpindahan bola tersebut? Gambarkan dan tentukan komponen-komponen vektor perpindahan bola pada sumbu  $x$  dan  $y$  (sisi-sisi lantai).

## C Vektor Satuan



**Gambar 2.6** Komponen-komponen vektor  $\vec{P}_x$  dan  $\vec{P}_y$ , serta vektor satuan  $\hat{i}$  dan  $\hat{j}$ .

**Vektor satuan** adalah vektor yang telah diuraikan ke dalam sumbu  $x$  ( $\hat{i}$ ),  $y$  ( $\hat{j}$ ), dan  $z$  ( $\hat{k}$ ) yang besarnya satu satuan. Vektor satuan digunakan untuk menjelaskan arah suatu vektor di dalam suatu koordinat, baik koordinat dua dimensi, atau tiga dimensi. Dalam koordinat dua dimensi ( $x, y$ ), suatu vektor misal  $\vec{P}$  dapat dinyatakan dengan notasi:

$$\vec{P} = P_x \hat{i} + P_y \hat{j}$$

Vektor tersebut dapat digambarkan pada koordinat dua dimensi lengkap dengan komponen-komponen dan vektor satuannya. Seperti Gambar 2.6.

Besar vektor  $\vec{P}$  dapat dicari dengan persamaan,

$$|\vec{P}| = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Sementara itu, dalam sistem koordinat tiga dimensi ( $x, y, z$ ), suatu vektor dapat dinyatakan dengan notasi:

$$\vec{P} = P_x \hat{i} + P_y \hat{j} + P_z \hat{k}$$

**Keterangan:**

$\vec{P}_x$  = komponen  $\vec{P}$  pada sumbu  $x$

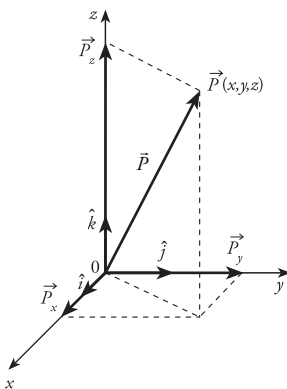
$\vec{P}_y$  = komponen  $\vec{P}$  pada sumbu  $y$

$\vec{P}_z$  = komponen  $\vec{P}$  pada sumbu  $z$

$\hat{i}$  = vektor satuan pada arah sumbu  $x$

$\hat{j}$  = vektor satuan pada arah sumbu  $y$

$\hat{k}$  = vektor satuan pada arah sumbu  $z$



**Gambar 2.7** Komponen-komponen vektor  $\vec{P}_x$ ,  $\vec{P}_y$ , dan  $\vec{P}_z$  serta vektor satuan  $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$ , dan  $\hat{k}$ .

Cara menggambarkan sebuah vektor pada koordinat tiga dimensi lengkap dengan komponen-komponen dan vektor satuannya, dapat kalian lihat pada Gambar 2.7.

Untuk menghitung besar vektor pada koordinat tiga dimensi, kita dapat menggunakan persamaan:

$$|\vec{P}| = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

Agar kalian lebih mudah dalam memahami vektor satuan, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah bola ditendang dari pojok lapangan. Bola tersebut mengalami perpindahan sejauh 10 meter dengan membentuk sudut  $45^\circ$  dari sumbu  $x$  (anggap lebar lapangan sebagai sumbu  $x$ ). Gambarkan dan tuliskan notasi vektor perpindahan bola tersebut dalam vektor satuannya.

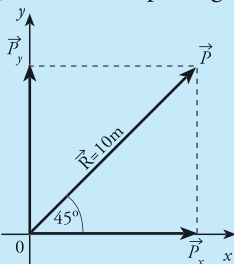
**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

Kita misalkan vektor perpindahan bola adalah  $\vec{R}$  sehingga:  $|\vec{R}| = 10 \text{ m}$   
 $\alpha = 45^\circ$

**Ditanyakan:** Gambar dan notasi vektor

**Jawab:**  $\vec{R}$  dapat digambarkan sebagai berikut.



Untuk menuliskan notasi vektor, kalian perlu mencari komponen vektor pada sumbu  $x$  ( $\vec{R}_x$ ) dan pada sumbu  $y$  ( $\vec{R}_y$ ) lebih dahulu. Dari gambar di atas, kita dapat mencari besar  $\vec{R}_x$  dan  $\vec{R}_y$  dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\vec{R}_x &= R \cos \alpha \\ &= 10 \cos 45 \\ &= 10 \times \left(\frac{1}{2}\sqrt{2}\right) \\ &= 5\sqrt{2} \\ \vec{R}_y &= R \sin \alpha \\ &= 10 \sin 45 \\ &= 10 \times \left(\frac{1}{2}\sqrt{2}\right) \\ &= 5\sqrt{2}\end{aligned}$$

Jadi notasi vektornya adalah

$$\vec{R} = 5\sqrt{2} \hat{i} + 5\sqrt{2} \hat{j}.$$

Agar kalian lebih menguasai cara menguraikan vektor dalam vektor satuannya, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

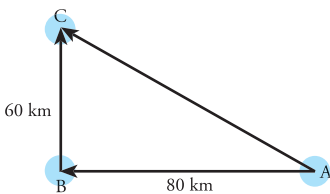
## Uji Kompetensi

1. Sebuah mobil bergerak ke arah barat sejauh 3 km, kemudian berbelok ke arah utara 4 km. Gambarkan dan nyatakan vektor perpindahan mobil tersebut dalam vektor satuan.
2. Seseorang berada di sudut sebuah ruangan melihat sebuah lampu. Vektor posisi lampu dinyatakan sebagai  $\vec{R} = 3\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$ . Berapakah jarak lampu ke orang tersebut?
3. Seekor ikan louhan berada di aquarium berukuran panjang 1 m, lebar 0,80 m, dan tinggi 0,60 m. Nyatakan dan hitung besar vektor posisi ikan louhan dari sebuah sudut di dasar aquarium ketika ikan louhan berada tepat di tengah-tengah permukaan air.

## D Operasi Penjumlahan Vektor

Seperti operasi aljabar, dua atau lebih vektor dapat kita operasikan. Operasi vektor ini antara lain penjumlahan, pengurangan, dan perkalian. Namun, ada sedikit perbedaan antara operasi aljabar dengan operasi vektor. Untuk memahaminya, perhatikan cerita berikut.

Seseorang melakukan perjalanan dari kota A menuju kota C yang berada di sebelah barat laut kota A. Ia mengambil jalan memutar lewat kota B yang berada di sebelah barat kota A dan di sebelah selatan kota C. Perjalanan orang tersebut dari kota A ke kota C dapat digambarkan dalam bentuk vektor. Jika jarak antarkota diketahui, kita juga bisa menghitung perpindahan orang tersebut dengan operasi penjumlahan vektor. Bagaimana bentuk operasi penjumlahan vektor ini? Untuk lebih jelasnya, simaklah penjelasan di bawah ini.



**Gambar 2.8** Perjalanan seseorang dari kota A ke kota B dilanjutkan ke kota C jika digambarkan dengan vektor

### 1. Penjumlahan Vektor

Perhatikan kembali cerita di atas. Kita misalkan jarak dari kota A ke kota B (kita sebut  $\overrightarrow{AB}$ ) adalah 80 km dan jarak dari kota B ke kota C (kita sebut  $\overrightarrow{BC}$ ) adalah 60 km. Berapakah besar perpindahan orang tersebut dari kota A ke kota C? Untuk menjawab pertanyaan ini, terlebih dahulu kita menggambarkan kedudukan kota A, kota B, dan kota C seperti Gambar 2.8.

Gambar tersebut membentuk segitiga siku-siku dengan siku-siku di B. Untuk menghitung perpindahan orang dari kota A menuju kota C, sama juga kita menghitung panjang AC pada segitiga siku-siku ABC. Padahal kita tahu bahwa perpindahan termasuk besaran vektor, sehingga perpindahan dari A ke C dapat dituliskan sebagai  $\overrightarrow{AC}$ , perpindahan dari A ke B dituliskan sebagai  $\overrightarrow{AB}$ , dan perpindahan dari B ke C dituliskan sebagai  $\overrightarrow{BC}$ .

Kita dapat menghitung panjang AC dengan menggunakan dalil Pythagoras sebagai berikut.

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{AC}|^2 &= |\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{BC}|^2 \\ AC &= \sqrt{AB^2 + BC^2} \end{aligned}$$

Dari cerita tersebut, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa penjumlahan vektor berbeda dengan penjumlahan aljabar biasa. Dalam penjumlahan aljabar biasa  $80 \text{ km} + 60 \text{ km}$ , hasilnya pasti 140 km. Untuk penjumlahan vektor,  $80 \text{ km} + 60 \text{ km}$  hasilnya belum tentu 140 km. Perbedaan penjumlahan aljabar biasa dengan penjumlahan vektor disebabkan karena selain mempunyai besar, vektor juga mempunyai arah.

Ada beberapa cara untuk menggambarkan penjumlahan vektor, antara lain dengan metode segitiga, jajargenjang, poligon, dan analitis. Bagaimanakah kita menggambarkan penjumlahan vektor dengan metode segitiga, jajargenjang, poligon, dan analitis? Temukan jawabannya pada uraian berikut.

## Teropong

Pada waktu kelas VII SMP/MTs, kalian telah mempelajari bab gerak lurus. Pada bab gerak lurus ini kalian telah membedakan antara jarak dan perpindahan. Jarak menyatakan panjang lintasan yang ditempuh, sedangkan perpindahan menyatakan jarak terpendek yang dihitung dari titik awal ke titik akhir. Dari Gambar 2.8, jarak yang ditempuh adalah  $AB + AC$  atau 140 km. Perpindahannya adalah AC atau 100 km.



### a. Penjumlahan Vektor dengan Metode Segitiga

Bagaimanakah cara kita menggambarkan hasil penjumlahan vektor dengan metode segitiga? Perhatikan kembali ilustrasi dan Gambar 2.8. Ilustrasi dan gambar 2.8 di depan merupakan salah satu contoh dari penjumlahan vektor dengan metode segitiga.

Jika diketahui vektor  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  dan  $\vec{d}$  seperti Gambar 2.9, bagaimanakah cara menggambarkan hasil penjumlahan  $\vec{a} + \vec{c}$ ? Untuk menggambarkan hasil  $\vec{a} + \vec{c}$ , kita dapat mengikuti langkah berikut.

1. Gambarlah vektor  $\vec{a}$ .
2. Gambarlah vektor  $\vec{c}$  dengan titik tangkap atau pangkalnya berada di ujung vektor  $\vec{a}$ .
3. Gambarlah sebuah vektor dimulai dari titik tangkap atau pangkal vektor  $\vec{a}$  dan berakhir di ujung vektor  $\vec{c}$ . Vektor ini merupakan vektor hasil penjumlahan  $\vec{a} + \vec{c}$  atau disebut **resultan vektor** yang dilambangkan dengan  $\vec{R}$ .

Ketiga langkah tersebut dapat kalian lihat pada Gambar 2.10.

### b. Penjumlahan Vektor dengan Metode Jajargenjang

Sekarang kita akan mencoba untuk menggambarkan penjumlahan vektor  $\vec{a} + \vec{c}$  dengan metode jajargenjang. Coba kalian lihat kembali vektor pada Gambar 2.9 di depan. Untuk menggambarkan resultan  $\vec{a} + \vec{c}$  dengan metode jajargenjang, kalian dapat mengikuti langkah berikut.

- 1) Gambarlah vektor  $\vec{a}$ .
- 2) Gambarlah vektor  $\vec{c}$  dengan titik tangkap atau pangkalnya berimpit dengan titik tangkap vektor  $\vec{a}$ .
- 3) Buatlah garis yang *sejajar* vektor  $\vec{a}$  yang dimulai dari ujung vektor  $\vec{c}$ , kemudian buatlah garis yang *sejajar* vektor  $\vec{c}$  yang dimulai dari ujung vektor  $\vec{a}$  sehingga membentuk sebuah jajargenjang.
- 4) Buatlah sebuah vektor yang dimulai dari titik tangkap kedua vektor dan berakhir di perpotongan garis pada langkah nomor 3. Vektor ini merupakan resultan dari penjumlahan  $\vec{a} + \vec{c}$ .

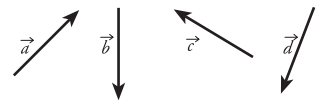
Keempat langkah tersebut dapat kalian lihat pada Gambar 2.11.

Jika kita perhatikan, resultan vektor ( $\vec{R}$ ) dari hasil dengan metode segitiga dan jajargenjang mempunyai besar dan arah yang sama. Pada prinsipnya, kita bisa menggunakan metode segitiga dan jajargenjang untuk menyelesaikan penjumlahan beberapa buah vektor. Namun, untuk menyelesaikannya kita memerlukan waktu yang lama.

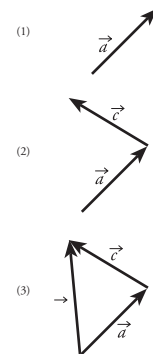
Untuk menyelesaikan penjumlahan lebih dari dua vektor, kita dapat menggunakan metode poligon.

### c. Penjumlahan Vektor dengan Metode Poligon

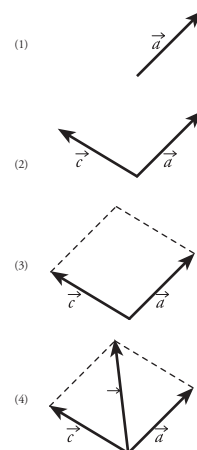
Pada prinsipnya, menggambarkan penjumlahan vektor dengan metode segitiga sama dengan metode poligon. Metode segitiga



Gambar 2.9 Vektor  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ , dan  $\vec{d}$ .

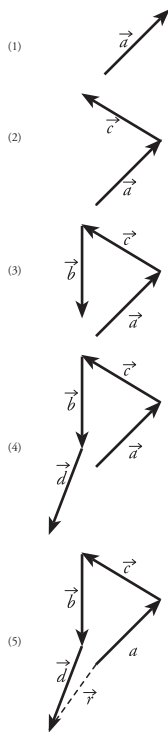


Gambar 2.10 Langkah-langkah menggambarkan resultan penjumlahan vektor dengan metode segitiga.

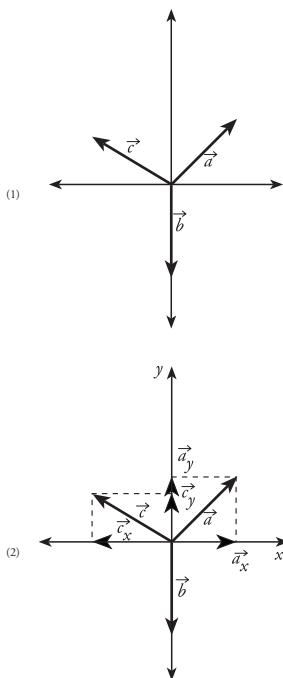


Gambar 2.11 Langkah menjumlahkan vektor dengan metode jajargenjang.





**Gambar 2.12** Langkah-langkah dalam menggambarkan penjumlahan vektor dengan metode poligon.



**Gambar 2.13** Langkah-langkah dalam menggambarkan penjumlahan vektor dengan metode analitis.

biasanya digunakan untuk menjumlahkan dua buah vektor saja. Sedangkan metode poligon digunakan untuk menjumlahkan lebih dari dua vektor.

Perhatikan kembali Gambar 2.9 di depan. Sekarang kita akan mencoba menggambarkan resultan penjumlahan dari  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{b} + \vec{d}$  dengan metode poligon. Untuk itu, perhatikan langkah-langkah berikut.

- 1) Gambarlah vektor  $\vec{a}$ .
- 2) Gambarlah vektor  $\vec{c}$  dengan titik tangkap atau pangkalnya berada di ujung vektor  $\vec{a}$ .
- 3) Gambarlah vektor  $\vec{b}$  dengan titik tangkap atau pangkalnya berada di ujung vektor  $\vec{c}$ .
- 4) Gambarlah vektor  $\vec{d}$  dengan titik tangkap atau pangkalnya berada di ujung vektor  $\vec{b}$ .
- 5) Gambarlah sebuah vektor yang dimulai dari titik tangkap atau pangkal vektor  $\vec{a}$  dan berakhir di ujung vektor  $\vec{d}$ . Vektor ini merupakan resultan dari penjumlahan vektor  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{b} + \vec{d}$ . Kelima langkah tersebut dapat kalian lihat pada gambar 2.12.

#### d. Penjumlahan Vektor dengan Metode Analisis

Untuk menggambarkan penjumlahan vektor dengan metode analisis, kita harus bisa menggambarkan penguraian vektor terlebih dahulu. Vektor dapat diuraikan ke dalam komponen-komponennya, baik komponen pada sumbu  $x$  maupun sumbu  $y$ .

Dari Gambar 2.9, kita akan mencoba untuk menggambarkan penjumlahan  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{b}$  dengan metode analitis. Untuk itu, pelajari langkah-langkahnya sebagai berikut.

- 1) Gambarlah bidang koordinat kartesius. Kemudian, gambar vektor  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  dan  $\vec{c}$  pada bidang koordinat tersebut dengan pangkal vektor berada di pusat koordinat.
- 2) Uraikan vektor  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  dan  $\vec{c}$  ke dalam komponen sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  ( $\vec{a}_x$ ,  $\vec{a}_y$ ,  $\vec{b}_x$ ,  $\vec{b}_y$ ,  $\vec{c}_x$ , dan  $\vec{c}_y$ ).
- 3) Jumlahkan semua komponen vektor pada sumbu  $x$  ( $\sum \vec{R}_x$ ) dan semua komponen pada sumbu  $y$  ( $\sum \vec{R}_y$ ).

Ketiga langkah tersebut dapat kalian pelajari pada Gambar 2.13.

Dari Gambar 2.13, kita bisa menuliskan  $\sum \vec{R}_x$  dan  $\sum \vec{R}_y$  dalam bentuk persamaan:

$$\sum \vec{R}_x = \vec{a}_x - \vec{c}_x$$

$$\sum \vec{R}_y = \vec{a}_y - \vec{b}_y + \vec{c}_y$$

Dari dua persamaan tersebut, besar dan arah resultan vektor dapat dicari dengan persamaan:

$$R = \sqrt{(\sum R_x)^2 + (\sum R_y)^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sum R_y}{\sum R_x}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\sum R_y}{\sum R_x} \right)$$

## 2. Pengurangan Vektor

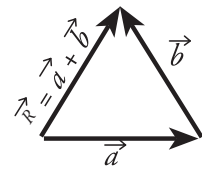
Pada prinsipnya, pengurangan vektor sama dengan penjumlahan vektor. Di kelas VII SMP/MTs, Kalian telah mempelajari sifat operasi aljabar. Pada operasi aljabar berlaku sifat pengurangan yaitu  $a - b = a + (-b)$ . Sifat pengurangan aljabar juga berlaku pada pengurangan vektor. Oleh karena itu, kita dapat menuliskan pengurangan vektor sebagai berikut.

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

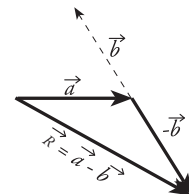
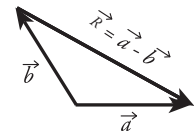
Dari sifat tersebut, kita dapat melihat bahwa pengurangan pada prinsipnya sama dengan penjumlahan. Pada pengurangan vektor tersebut,  $-\vec{b}$  vektor  $\vec{b}$  dengan besar sama, namun arahnya berlawanan. Perhatikan operasi penjumlahan dengan metode segitiga pada Gambar 2.14.

Untuk menggambarkan vektor  $\vec{a} - \vec{b}$  dengan metode segitiga, sama saja dengan menggambarkan penjumlahan vektor  $\vec{a}$  dengan vektor  $-\vec{b}$ . Dari gambar 2.14, kita dapat menggambarkan  $\vec{a} - \vec{b}$  seperti gambar 2.15.

Untuk menambah pemahaman kalian tentang penjumlahan dan pengurangan vektor, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



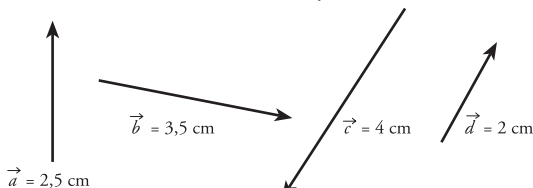
Gambar 2.14 Penjumlahan vektor  $\vec{a} + \vec{b}$  dengan metode segitiga.



Gambar 2.15 Pengurangan vektor  $\vec{a} - \vec{b}$  dengan metode segitiga

### Ekspedisi

Salinlah vektor-vektor berikut pada buku kalian.



Kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Gambarkan dengan metode segitiga,

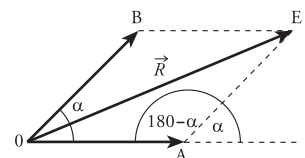
jajargenjang, poligon, dan analitis resultan dari  $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$  dan  $\vec{a} - \vec{b} - \vec{c} - \vec{d}$ .

2. Hitunglah besar resultan dari operasi penjumlahan dan pengurangan tersebut.
3. Apakah dengan menggunakan metode yang berbeda akan menghasilkan resultan yang berbeda? Bagaimanakah penjelasan kalian?

Kumpulkan hasil pekerjaan kalian kepada Bapak atau Ibu Guru.

## 3. Penjumlahan Dua Buah Vektor yang Membentuk Sudut

Untuk menggambarkan penjumlahan dua buah vektor yang membentuk sudut, kita bisa menggunakan langkah-langkah penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang. Sedangkan untuk menentukan resultan dari dua vektor yang arahnya sembarang dan membentuk sudut, kita dapat menggunakan rumus kosinus. Perhatikan Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Resultan dua vektor yang membentuk sudut  $\alpha$ .

Pada segitiga OAE berlaku persamaan:

$$(OE)^2 = (OA)^2 + (AE)^2 - 2(OA)(AE) \cos(180 - \alpha)$$

$$(OE)^2 = (OA)^2 + (AE)^2 - 2(OA)(AE) (-\cos \alpha)$$

$$(OE)^2 = (OA)^2 + (AE)^2 + 2(OA)(AE) \cos \alpha$$

Dengan  $OE = R$ ,  $OA = a$  dan  $OB = b$ , persamaan tersebut dapat dituliskan:

$$R^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha$$

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha}$$

**Keterangan:**

$a$  = besar vektor  $\vec{a}$  atau  $\overline{OA}$

$b$  = besar vektor  $\vec{b}$  atau  $\overline{OB}$

$R$  = besar resultan vektor  $\vec{a} + \vec{b}$

$\alpha$  = sudut yang dibentuk antara vektor  $\vec{a}$  dan  $\vec{b}$  dengan  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

Untuk mengetahui penerapan persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Dua buah vektor yaitu  $\vec{A}_1$  dan  $\vec{A}_2$  mempunyai besar sama yaitu  $a$ . Kedua vektor tersebut mempunyai titik pangkal yang berimpit. Jika besar resultannya sama dengan  $a$ , tentukan sudut apit kedua vektor tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$|\vec{A}_1| = |\vec{A}_2| = a$$

$$|\vec{R}| = |\vec{A}_1 + \vec{A}_2|$$

**Ditanyakan:**  $\alpha$

**Jawab:**

Untuk mencari  $\alpha$ , kita bisa menggunakan persamaan:

$$|\vec{R}|^2 = |\vec{A}_1|^2 + |\vec{A}_2|^2 + 2|\vec{A}_1||\vec{A}_2|\cos \alpha$$

$$a^2 = a^2 + a^2 + 2a^2 \cos \alpha$$

$$a^2 = 2a^2(1 + \cos \alpha)$$

$$1 + \cos \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\cos \alpha = -\frac{1}{2}$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(-\frac{1}{2}\right)$$

$$= 120$$

Jadi, sudut apit kedua vektor adalah  $120^\circ$ .

Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi penjumlahan vektor, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

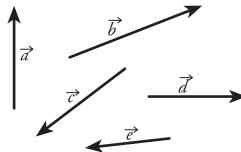
1. Budi berjalan ke arah utara sejauh 4 meter, kemudian berjalan ke barat 5 meter. Berapakah besar vektor perpindahan Budi?
2. Kedudukan sebuah kapal pada pukul 07.30 WIB dilaporkan pada posisi  $\vec{P}_1 = (60\hat{i} + 80\hat{j})$  km dari sebuah menara. Selang 1 jam kemudian, kapal tersebut telah berada pada posisi  $\vec{P}_2 = (100\hat{i} + 50\hat{j})$  km. Gambarkan vektor posisi kapal pada pukul 07.30 WIB dan pukul 08.30 WIB. Berapakah besar perpindahan kapal dalam selang waktu 1 jam tersebut?

3. Berdasarkan gambar vektor di samping, gambarlah vektor  $\vec{P}$ ,  $\vec{Q}$  dan  $\vec{R}$  dengan metode segitiga, jajargenjang, poligon, dan analitis jika:

$$\vec{P} = \vec{a} + \vec{b} - \vec{c}$$

$$\vec{Q} = \vec{a} - \vec{d} + \vec{e}$$

$$\vec{R} = \vec{c} + \vec{d} + \vec{b} + \vec{e}$$



## E Perkalian Vektor

Operasi vektor tidak hanya terbatas pada penjumlahan dan pengurangan vektor saja, operasi perkalian juga berlaku pada vektor. Perkalian vektor yang akan kita pelajari ada tiga macam, antara lain perkalian vektor dengan skalar, perkalian titik (*dot product*), dan perkalian silang (*cross product*). Apakah perbedaan dari ketiga perkalian vektor tersebut? Untuk lebih jelasnya, pelajailah uraian di bawah ini.

### 1. Perkalian Vektor dengan Skalar

Untuk memahami sifat perkalian vektor dan skalar, perhatikan sebuah sepeda motor yang melaju dengan kecepatan tertentu, seperti tampak pada Gambar 2.17. Misalkan motor bergerak dengan kecepatan 15 m/s ke utara. Setelah beberapa waktu, motor telah mengalami perpindahan.

Di kelas VII SMP/MTs, kalian telah mempelajari konsep kecepatan. Kecepatan adalah perpindahan per selang waktu. Dari pengertian kecepatan ini, kita bisa menghitung perpindahan yang dialami motor dengan persamaan:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t$$

Dari penjelasan sebelumnya, kita tahu bahwa kecepatan merupakan besaran vektor, sedangkan waktu merupakan besaran skalar. Berdasarkan persamaan tersebut, perkalian kecepatan dengan waktu menghasilkan perpindahan yang termasuk besaran vektor. Jadi kesimpulannya, **hasil kali antara vektor dengan skalar adalah vektor**.

Perkalian vektor dengan skalar mempunyai arti yang sederhana. Hasil kali suatu skalar  $k$  dengan sebuah vektor  $\vec{A}$  dituliskan  $k\vec{A}$  didefinisikan sebagai **sebuah vektor baru yang besarnya adalah besar  $k$  dikalikan dengan besar  $\vec{A}$** . Sementara arah vektor ini searah vektor  $\vec{A}$  jika  $k$  positif, dan berlawanan dengan arah vektor  $\vec{A}$  jika  $k$  negatif.

Selain dilakukan perkalian dengan skalar, vektor dapat pula dibagi dengan skalar. Bagaimanakah cara membagi vektor dengan skalar? Perhatikan sebuah bus yang bergerak sejauh 500 m ke selatan dalam waktu 20 sekon. Berapakah kecepatan bus tersebut? Seperti kejadian di depan, kita dapat mencari kecepatan bus tersebut dengan rumus kecepatan. Kecepatan bus tersebut adalah 25 m/s ke selatan.



dok. PTN

**Gambar 2.17** Pengendara sepeda motor yang bergerak dengan kecepatan tertentu akan mengalami perpindahan.

Membagi vektor dengan skalar sama dengan mengalikan vektor itu dengan kebalikan skalar tersebut. Agar kalian lebih mudah dalam memahami perkalian vektor dengan skalar, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Diketahui suatu vektor  $\vec{A}$  digambarkan sebagai berikut.

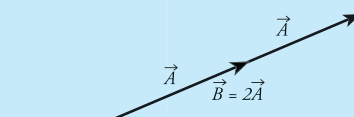


Gambarkan vektor  $\vec{B}$ , jika:

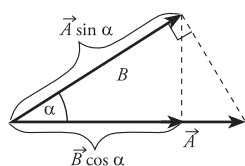
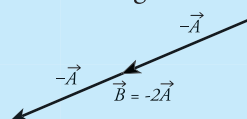
- $\vec{B} = 2\vec{A}$
- $\vec{B} = -2\vec{A}$

**Penyelesaian:**

- $\vec{B} = 2\vec{A}$  berarti panjang vektor menjadi dua kali panjang semula dan arahnya sama dengan arah  $\vec{A}$ .



- $\vec{B} = -2\vec{A}$  berarti panjang vektor menjadi dua kali panjang semula, tetapi arahnya berlawanan dengan arah  $\vec{A}$ .



Gambar 2.18 Dua vektor yang menunjukkan definisi perkalian titik

## 2. Perkalian Titik (*dot product*)

Selain perkalian vektor dengan skalar, vektor juga dapat dikalikan dengan vektor yang lain. Salah satunya adalah perkalian titik (*dot product*). Untuk mendefinisikan perkalian titik, perhatikan Gambar 2.18.

Perkalian titik (baca “dot”) dua buah vektor didefinisikan sebagai perkalian antara besar salah satu vektor (misal  $\vec{A}$ ) dengan komponen vektor kedua ( $\vec{B}$ ) pada arah vektor pertama ( $\vec{A}$ ). Pada Gambar 2.18, komponen vektor pada vektor adalah  $\vec{B} \cos \alpha$ . Dari definisi perkalian titik tersebut, perkalian titik antara  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \alpha = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$$

**Keterangan:**

$\alpha$  = sudut yang dibentuk oleh  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

$A = |\vec{A}|$  besar vektor  $\vec{A}$

Dari definisi perkalian titik tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil perkalian titik dua buah vektor adalah skalar. Sekarang, bagaimanakah hasil dari perkalian dua vektor yang dinyatakan dalam vektor satuan?

Sesuai dengan definisi perkalian titik, maka perkalian vektor satuan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \hat{i} \cdot \hat{i} &= \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = 1 \\ \hat{i} \cdot \hat{j} &= \hat{j} \cdot \hat{k} = \hat{k} \cdot \hat{i} = 0 \end{aligned}$$

## Tips & Trik

Ketika mengoperasikan dua buah vektor yang disertai vektor satuannya dengan perkalian titik, sebaiknya tidak perlu memperhatikan perkalian titik dua vektor satuan yang berbeda. Kita hanya perlu memperhatikan perkalian dua vektor yang sejenis, misalnya:  $\hat{i} \cdot \hat{i}$ ,  $\hat{j} \cdot \hat{j}$ , atau  $\hat{k} \cdot \hat{k}$

Kita dapat mencari hasil perkalian titik yang dinyatakan dalam vektor satuan. Kita ambil contoh vektor  $\vec{A}$  yang dinyatakan dengan persamaan  $\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$  dan  $\vec{B}$  vektor yang dinyatakan dengan persamaan  $\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}$ . Hasil perkalian titik antara  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}) \cdot (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k})$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{A}_x \vec{B}_x + \vec{A}_y \vec{B}_y + \vec{A}_z \vec{B}_z$$

Untuk membantu pemahaman kalian, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Vektor gaya dan perpindahan mempunyai persamaan  $\vec{F} = (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$  N dan  $\vec{s} = (3\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})$  m. Tentukan usaha yang dilakukan gaya.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$\vec{F} = (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$$

$$\vec{s} = (3\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})$$

**Ditanyakan:**  $\vec{W}$

**Jawab:**

Usaha merupakan hasil perkalian titik antara gaya dengan perpindahan.

$$\vec{W} = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

$$= (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k}) \cdot (3\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})$$

$$= 3 + 4 + 6$$

$$= 13 \text{ joule}$$

Jadi, usaha yang dilakukan gaya tersebut adalah 13 J.

### 3. Perkalian Silang (cross product)

Untuk mendefinisikan perkalian silang, perhatikan gambar 2.19. Perkalian silang  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  atau dituliskan  $\vec{A} \times \vec{B}$  didefinisikan sebagai perkalian vektor  $\vec{A}$  dengan komponen vektor  $\vec{B}$  yang tegak lurus vektor  $\vec{A}$ . Berdasarkan Gambar 2.19, komponen vektor yang tegak lurus dengan vektor  $\vec{A}$  adalah  $B \sin \alpha$ . Dari definisi ini, hasil perkalian silang  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = AB \sin \alpha$$

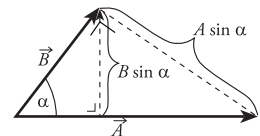
Hasil dari perkalian titik adalah sebuah skalar, sedangkan hasil dari perkalian vektor adalah sebuah vektor lain (misalnya  $\vec{C}$ ) yang mempunyai arah tegak lurus pada bidang yang dibentuk oleh  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Arah dari  $\vec{C}$  dapat digambarkan seperti Gambar 2.20.

Dari definisi perkalian silang, perkalian silang antara dua vektor satuan dapat dituliskan sebagai berikut.

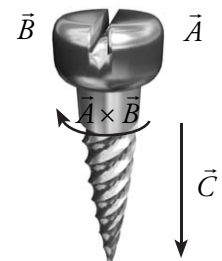
$$\hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$$

$$\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k} \quad \hat{j} \times \hat{k} = \hat{i} \quad \hat{k} \times \hat{i} = \hat{j}$$

$$\hat{j} \times \hat{i} = -\hat{k} \quad \hat{k} \times \hat{j} = -\hat{i} \quad \hat{i} \times \hat{k} = -\hat{j}$$



**Gambar 2.19** Dua vektor yang menunjukkan definisi perkalian silang vektor yang tegak lurus vektor.



**Gambar 2.20** Arah vektor hasil perkalian silang dua buah vektor ( $\vec{C}$ ) saling tegak lurus dengan vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ .

Dari definisi perkalian silang di atas, kita dapat menentukan besar dan arah vektor dari hasil perkalian silang  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$ . Jika vektor  $\vec{A}$  dinyatakan dengan persamaan  $\vec{A} = A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}$  dan vektor  $\vec{B}$  dinyatakan dengan persamaan  $\vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}$ , maka hasil  $\vec{A} \times \vec{B}$  dapat dicari sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\vec{A} \times \vec{B} &= (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}) \times (B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k}) \\ \vec{A} \times \vec{B} &= A_xB_x(\hat{i} \times \hat{i}) + A_xB_y(\hat{i} \times \hat{j}) + A_xB_z(\hat{i} \times \hat{k}) + A_yB_x(\hat{j} \times \hat{i}) + A_yB_y(\hat{j} \times \hat{j}) + \\ &\quad A_yB_z(\hat{j} \times \hat{k}) + A_zB_x(\hat{k} \times \hat{i}) + A_zB_y(\hat{k} \times \hat{j}) + A_zB_z(\hat{k} \times \hat{k}) \\ \vec{A} \times \vec{B} &= 0 + (A_xB_y)\hat{k} - (A_xB_z)\hat{j} - (A_yB_x)\hat{k} + 0 + (A_yB_z)\hat{i} + (A_zB_x)\hat{j} - (A_zB_y)\hat{i} + 0\end{aligned}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y)\hat{i} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{j} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k}$$

Untuk membantu kalian dalam menerapkan perkalian silang dua buah vektor, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah gaya dengan persamaan  $\vec{F} = (\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k})$  N bekerja pada daun pintu. Dilihat dari sebuah engsel, gaya tersebut bekerja pada vektor posisi  $\vec{r} = (0,8\hat{i} + 0,2\hat{j})$  m. Tentukan persamaan momen gaya yang ditimbulkan gaya tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$\vec{F} = (\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k}) \text{ N}$$

$$\vec{r} = (0,8\hat{i} + 0,2\hat{j}) \text{ m}$$

**Ditanyakan:**

momen gaya ( $\vec{\tau}$ )

**Jawab:**

Momen gaya merupakan hasil perkalian silang antara vektor posisi dengan gaya. Jadi,

$$\begin{aligned}\vec{\tau} &= \vec{r} \times \vec{F} \\ &= (0,8\hat{i} + 0,2\hat{j}) \times (\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k}) \\ &= 0,8(\hat{i} \times \hat{i}) + 1,6(\hat{i} \times \hat{j}) - 0,8(\hat{i} \times \hat{k}) \\ &\quad + 0,2(\hat{j} \times \hat{i}) + 0,4(\hat{j} \times \hat{j}) - 0,2(\hat{j} \times \hat{k}) \\ &= 0 + 1,6\hat{k} - 0,8(-\hat{j}) + 0,2(-\hat{k}) + 0 - 0,2\hat{i} \\ &= -0,2\hat{i} + 0,8\hat{j} + 1,4\hat{k}\end{aligned}$$

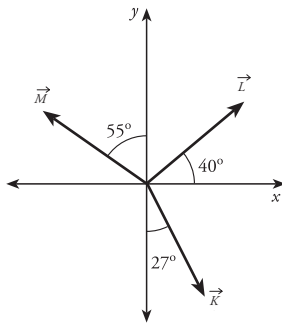
Jadi, persamaan momen gaya yang ditimbulkan gaya tersebut adalah  $\vec{\tau} = (-0,2\hat{i} + 0,8\hat{j} + 1,4\hat{k})$  Nm.

Untuk mengetahui pemahaman kalian, kerjakan soal-soal pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

- Dua vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  masing-masing mempunyai besar 12 m dan 9 m. Sudut yang dibentuk oleh kedua vektor adalah  $30^\circ$ . Gambarkan dan carilah hasil dari perkalian:
  - $\vec{A} \cdot \vec{B}$
  - $\vec{A} \times \vec{B}$

2.



Tiga vektor yaitu  $\vec{K}$ ,  $\vec{L}$  dan  $\vec{M}$  dengan besar masing-masing 14 m, 9 m, dan 11 m ditunjukkan pada gambar. Tentukan hasil operasi berikut.

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| a. $\vec{K} \cdot \vec{L}$ | d. $\vec{K} \times \vec{L}$ |
| b. $\vec{L} \cdot \vec{M}$ | e. $\vec{L} \times \vec{M}$ |
| c. $\vec{K} \cdot \vec{M}$ | f. $\vec{K} \times \vec{M}$ |

## Inti Sari

1. Vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah. Sebuah vektor digambarkan sebagai garis berarah atau anak panah.

2. Besar dari vektor  $\vec{P}$  dapat dirumuskan sebagai:

$$|\vec{P}| = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

3. Arah vektor dapat dicari dengan rumus:

$$\tan \alpha = \frac{P_y}{P_x} \text{ maka } \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right)$$

4. Dalam koordinat bidang (2 dimensi), vektor dapat dinyatakan dalam vektor satuan sebagai berikut.

$$\vec{P} = P_x \hat{i} + P_y \hat{j}$$

Sedangkan untuk koordinat ruang (3 dimensi),  $\vec{P}$  dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\vec{P} = P_x \hat{i} + P_y \hat{j} + P_z \hat{k}$$

5. Perkalian titik dua buah vektor dapat didefinisikan sebagai:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \alpha$$

6. Perkalian silang dua buah vektor dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$$

## Telaah Istilah

**Besaran skalar** Besaran fisika yang hanya mempunyai besar/nilai saja

**Besaran vektor** Besaran fisika yang mempunyai besar atau nilai dan arah

**Cross product** Perkalian silang dua buah vektor yang menghasilkan vektor baru

**Dot product** Perkalian titik dua buah vektor yang menghasilkan skalar

**Resultan** Hasil penjumlahan vektor

**Vektor satuan** Vektor pada sumbu koordinat yang besarnya satu satuan

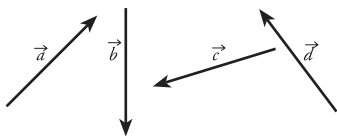


# Ulangan Harian

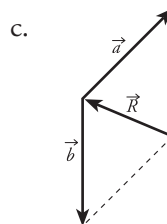
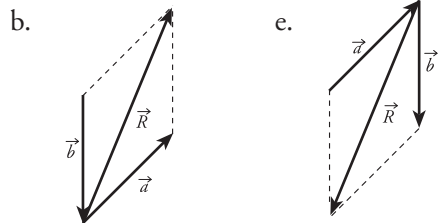
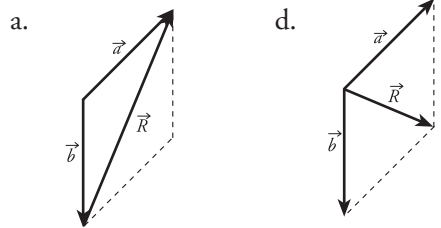
## A Pilihlah jawaban yang paling tepat

- Kelompok besaran di bawah ini yang termasuk besaran vektor adalah . . .
  - kelajuan, kuat arus, gaya
  - energi, usaha, banyak mol zat
  - kecepatan, momentum, kuat arus listrik
  - tegangan, intensitas cahaya, gaya
  - gaya, percepatan, waktu
- Seseorang menarik meja ke arah barat dengan gaya 60 N. Jika 1 cm mewakili gaya 15 N, gambar vektor gaya tersebut yang benar adalah . . .
  - 
  - 
  - 
  - 
  -
- Pada perlombaan tarik tambang, kelompok A menarik ke arah timur dengan gaya 700 N. Kelompok B menarik ke barat dengan gaya 665 N. Kelompok yang memenangi perlombaan adalah kelompok . . .
  - A dengan resultan gaya 25 N
  - A dengan resultan gaya 35 N
  - B dengan resultan gaya 25 N
  - B dengan resultan gaya 35 N
  - B dengan resultan gaya 45 N

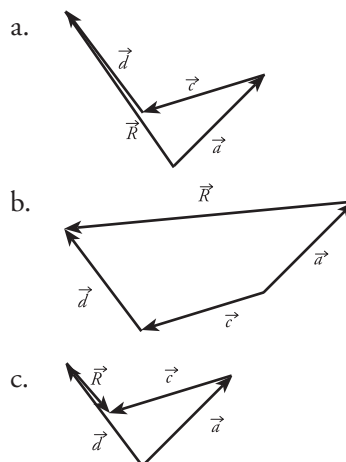
Perhatikan gambar vektor-vektor berikut untuk menjawab soal no 7 sampai no 10.



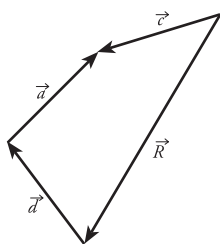
- Gambar resultan dari  $\vec{a} + \vec{b}$  dengan metode jajargenjang yang benar adalah . . . .



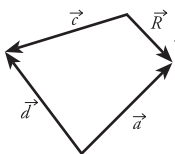
- Gambar resultan dari  $\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$  dengan metode poligon yang benar adalah . . . .



d.

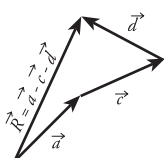


e.

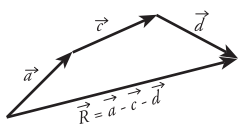


6. Gambar resultan dari  $\vec{a} - \vec{c} - \vec{d}$  dengan metode poligon yang benar adalah . . . .

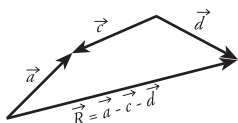
a.



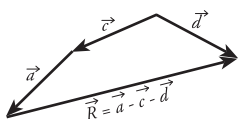
b.



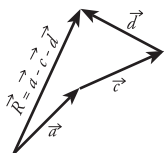
c.



d.

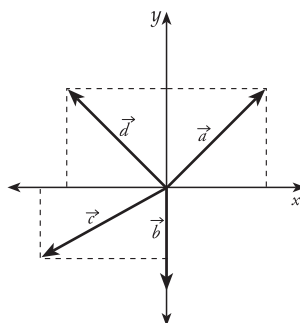


e.

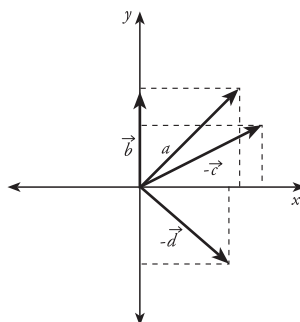


7. Gambar resultan dari  $\vec{a} + \vec{b} - \vec{c} - \vec{d}$  dengan metode analisis yang benar adalah . . . .

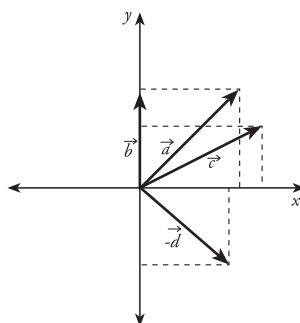
a.



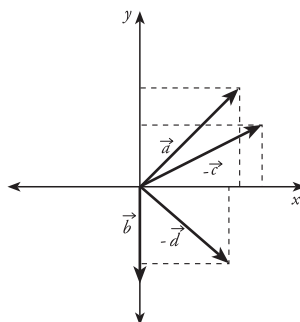
b.



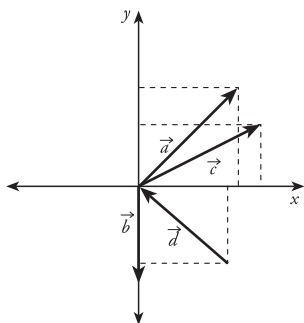
c.



d.



e.



8. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 50 km/jam membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap sumbu x positif. Besar komponen vektor kecepatan tersebut pada sumbu x dan sumbu y berturut-turut adalah . . . .
  - a. 25 km/jam dan  $25\sqrt{2}$  km/jam
  - b. 25 km/jam dan  $25\sqrt{3}$  km/jam
  - c.  $25\sqrt{3}$  km/jam dan 25 km/jam
  - d.  $25\sqrt{3}$  km/jam dan  $25\sqrt{2}$  km/jam
  - e.  $25\sqrt{3}$  km/jam dan  $25\sqrt{3}$  km/jam
9. Seseorang akan menyeberangi sungai dengan perahu. Orang itu mengarahkan perahu tegak lurus arah arus sungai. Jika vektor kecepatan arus dinyatakan dengan  $\vec{v}_a = 5\hat{i}$  m/s dan kecepatan perahu dinyatakan dengan  $\vec{v}_p = 12\hat{j}$  m/s, resultan kecepatan yang dialami perahu dinyatakan dengan . . . m/s.
  - a.  $\vec{v}_R = 13\hat{i}$
  - b.  $\vec{v}_R = 13\hat{j}$
  - c.  $\vec{v}_R = 5\hat{i} + 12\hat{j}$
  - d.  $\vec{v}_R = 12\hat{i} + 5\hat{j}$
  - e.  $\vec{v}_R = 5\hat{i} + 13\hat{j}$
10. Dua buah gaya masing-masing 10 N dan 15 N membentuk sudut  $60^\circ$ . Besar resultan kedua gaya tersebut adalah . . . .
  - a. 21,8 N
  - b. 21,7 N
  - c. 20,8 N
  - d. 20,7 N
  - e. 20,6 N
11. Diketahui vektor  $\vec{A} = (5\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k})$  m. Jika besar  $2\vec{A} - \vec{B}$  adalah  $\sqrt{74}$  m, maka

vektor  $\vec{B}$  adalah . . . .

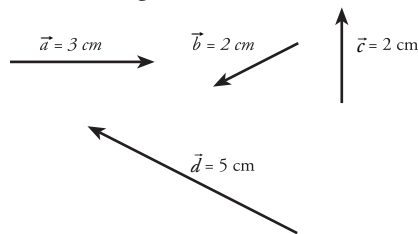
- a.  $(4\hat{i} - 5\hat{j} + 8\hat{k})$  m
  - b.  $(2\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k})$  m
  - c.  $(8\hat{i} - \hat{j} + 4\hat{k})$  m
  - d.  $(6\hat{i} - 3\hat{j} + 5\hat{k})$  m
  - e.  $(8\hat{i} - 6\hat{j} + 5\hat{k})$  m
12. Momentum merupakan hasil kali massa dengan kecepatan. Sebuah kelereng mempunyai massa 10 gram bergerak dengan persamaan kecepatan  $\vec{v} = (3\hat{i} + 3\hat{j})$  m/s. Besar momentum yang dimiliki kelereng tersebut adalah . . . kg m/s
    - a. 3
    - b.  $3\sqrt{2}$
    - c.  $3 \times 10^{-2}$
    - d.  $3\sqrt{2} \times 10^{-2}$
    - e.  $3\sqrt{2} \times 10^{-3}$
  13. Usaha dirumuskan sebagai perkalian titik antara gaya dengan perpindahan. Seseorang memindahkan sebuah benda dengan gaya  $\vec{F} = (\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k})$  N, sehingga mengalami perpindahan  $\vec{s} = (3\hat{i} + 3\hat{j})$  m. Usaha yang dilakukan orang tersebut adalah . . . .
    - a. 9 N m
    - b. 10 N m
    - c. 15 N m
    - d. 18 N m
    - e. 20 N m
  14. Momen gaya dirumuskan sebagai perkalian silang antara gaya dengan vektor posisi. Vektor posisi sebuah titik dinyatakan dengan  $\vec{r} = 4\hat{i} + 3\hat{k}$  dikenai gaya dengan persamaan  $\vec{F} = 2\hat{i} + 3\hat{j} + 6\hat{k}$ . Momen gaya di titik tersebut dinyatakan dengan persamaan . . . .
    - a.  $\vec{\tau} = 8\hat{i} + 18\hat{j}$
    - b.  $\vec{\tau} = 9\hat{i} - 18\hat{j} + 12\hat{k}$
    - c.  $\vec{\tau} = 15\hat{i} + 18\hat{j} - 9\hat{k}$
    - d.  $\vec{\tau} = -9\hat{i} - 18\hat{j} + 12\hat{k}$
    - e.  $\vec{\tau} = 9\hat{i} + 18\hat{j} - 12\hat{k}$
  15. Pada gerak melingkar, momentum sudut ( $\vec{L}$ ) dirumuskan sebagai perkalian silang

antara vektor posisi ( $\vec{r}$ ) dengan momentum linear ( $\vec{p}$ ). Jika diketahui  $\vec{r} = (2\hat{i} - 4\hat{k})$  dan  $\vec{p} = (2\hat{k})$ , momentum sudutnya adalah . . . .

- $2\hat{j}$
- $-4\hat{i}$
- $4\hat{i} + 4\hat{k}$
- $-4\hat{j}$
- $4\hat{i} + 8\hat{k}$

### B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

- Sebuah pesawat bergerak ke barat sepanjang 25 km dan berbelok membentuk sudut  $60^\circ$  dari arah utara sepanjang 45 km. Tentukan besar vektor perpindahan pesawat tersebut.
- Perhatikan gambar vektor berikut.



Dari gambar di atas, gambarkan dengan metode jajargenjang dan poligon operasi vektor di bawah ini.

- $\vec{a} + \vec{b}$
  - $\vec{a} - \vec{d}$
  - $\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$
  - $\vec{a} + \vec{b} - \vec{c}$
  - $\vec{d} - \vec{a} - \vec{c}$
  - $\vec{a} + \vec{b} - \vec{c} + \vec{d}$
- Tiga buah vektor mempunyai persamaan  $\vec{p} = 7\hat{i} + 5\hat{j}$ ,  $\vec{q} = \hat{i} + 2\hat{j}$  dan  $\vec{r} = 2\hat{i} - 3\hat{j}$ .
    - Gambarkan vektor-vektor tersebut dalam bidang  $x, y$  lengkap dengan komponen-komponennya.
    - Hitunglah besar resultan penjumlahan ketiga vektor tersebut dengan metode analisis.

- Diketahui  $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} + 6\hat{k}$  dan  $\vec{B} = 6\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}$ . Tentukan:
  - besar vektor  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$
  - $\vec{A} \cdot \vec{B}$
  - $\vec{A} \times \vec{B}$
  - $|\vec{A} \times \vec{B}|$
- Seorang siswa melempar sebuah lemping dengan membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap tanah. Jika kecepatan lemping tersebut adalah 15 m/s, nyatakanlah vektor kecepatan tersebut dalam vektor satuan.
- Buktikanlah persamaan-persamaan berikut.
  - $\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$
  - $\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$
  - $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$
- Tentukanlah besar sudut yang dibentuk antara vektor  $\vec{F}_1 = (3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k}) \text{ N}$  dan  $\vec{F}_2 = (4\hat{i} - 3\hat{k}) \text{ N}$ .
- Dapatkah dua buah vektor yang mempunyai besar yang berlainan dijumlahkan sehingga resultannya sama dengan nol? Bagaimana pula dengan tiga vektor?
- Tiga orang astronot melakukan perjalanan dari Cape Canaveral menuju bulan, kemudian kembali lagi dan tercebur di Samudra Pasifik. Seorang kapten kapal laut di Cape mengucapkan selamat kepada ketiga astronot dan kemudian berlayar ke Samudra Pasifik untuk menjemput mereka. Dari perjalanan astronot dan kapten kapal tersebut, manakah yang mempunyai perpindahan lebih besar? Jelaskan alasan jawaban kalian.
- Tunjukkanlah bahwa jika arah semua komponen-komponen sebuah vektor dibalik, maka vektor itu pun berbalik arah juga.

# Latihan Ulangan Tengah Semester I

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

1. Pasangan besaran pokok, lambang, dan satuan dalam SI yang benar adalah ....

	Besaran Pokok	Lambang	Satuan
a	massa	$w$	kilogram
b	suhu	$t$	Kelvin
c	kuat arus listrik	$i$	ampere
d	banyaknya molekul zat	$N$	mol
e	intensitas cahaya	$I$	watt

2. Momentum merupakan hasil kali kecepatan dengan massa. Sementara kecepatan adalah hasil bagi antara jarak dengan waktu. Dengan demikian, satuan dari momentum adalah ....
- $\text{m/s}^2$
  - $\text{kgm/s}^2$
  - $\text{kgm}$
  - $\text{kgm/s}$
  - $\text{m/kgs}$
3.  $72 \text{ km/jam}$  sama dengan ....
- $120 \text{ m/s}$
  - $72 \text{ m/s}$
  - $20 \text{ m/s}$
  - $12 \text{ m/s}$
  - $2 \text{ m/s}$
4. Seseorang mengukur diameter pipa menggunakan mikrometer sekrup. Hasilnya adalah  $20,00 \text{ mm}$ . Jumlah angka penting dari hasil pengukuran tersebut adalah ....
- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
5. Pasangan besaran berikut yang mempunyai dimensi sama adalah ....
- massa dan berat
  - energi dan daya
  - energi dan usaha
  - kecepatan dan percepatan
  - momentum dan gaya
6. Sebuah kubus dengan rusuk  $4,0 \text{ cm}$  memiliki massa  $120,45 \text{ g}$ . Dengan menggunakan aturan angka penting, massa jenis kubus adalah ....
- $1,88203$
  - $1,8820$
  - $1,882$
  - $1,88$
  - $1,9$
7. Dalam suatu percobaan, seorang siswa mengukur panjang ayunan matematis menggunakan mistar dengan skala terkecil  $1 \text{ mm}$ . Jika hasil pengukuran siswa adalah  $60,7 \text{ cm}$ , maka hasil tersebut dituliskan dalam bentuk ... cm.
- $60,7 \pm 1$
  - $60,7 \pm 0,5$
  - $60,7 \pm 0,1$
  - $60,7 \pm 0,05$
  - $60,7 \pm 0,01$
8. Seorang siswa mengukur massa sebuah buku sebanyak 5 kali. Hasil pengukurannya adalah  $50,2 \text{ g}$ ;  $50,3 \text{ g}$ ;  $49,9 \text{ g}$ ;  $50,1 \text{ g}$ ; dan  $50,2 \text{ g}$ . Penulisan hasil pengukuran siswa tersebut yang benar adalah ....
- $(50,14 \pm 0,5)\text{g}$
  - $(50,14 \pm 0,05)\text{g}$
  - $(50,14 \pm 0,67)\text{g}$
  - $(50,14 \pm 0,07)\text{g}$
  - $(50,14 \pm 0,068)\text{g}$
9. Pada pengukuran kedalaman botol menggunakan jangka sorong, skala utama menunjukkan angka  $4,3 \text{ cm}$ . Jika skala nonius yang berimpit dengan skala utama menunjukkan skala 4, maka hasil pengukuran tersebut, dan nilai ketidakpastiannya adalah ....
- $4,7 \text{ cm}$  dan  $0,1 \text{ cm}$
  - $4,7 \text{ cm}$  dan  $0,05 \text{ cm}$
  - $4,34 \text{ cm}$  dan  $0,5 \text{ cm}$
  - $4,34 \text{ cm}$  dan  $0,05 \text{ cm}$
  - $4,34 \text{ cm}$  dan  $0,005 \text{ cm}$

10. Jika skala utama pada mikrometer sekrup menunjukkan angka 5,5 dan skala putar menunjukkan angka 35, maka hasil pengukurannya adalah ....
- 9,00 cm
  - 9,00 cm
  - 5,85 cm
  - 5,85 mm
  - 5,535 mm
11. Yang merupakan kelompok besaran vektor adalah ....
- kelajuan, gaya, percepatan
  - momentum, usaha, jarak
  - perpindahan, kecepatan, massa
  - perpindahan, gaya, kecepatan
  - jumlah mol, suhu, kecepatan
12. Seorang anak menarik mobil-mobilan yang diikatkan dengan tali. Tali tersebut membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap tanah. Jika gaya yang diberikan adalah 8 N, maka komponen gaya pada arah horisontal dan vertikal berturut-turut adalah. . . .
- $8\sqrt{3}$  N dan 8 N
  - 8 N dan  $8\sqrt{3}$  N
  - $4\sqrt{3}$  N dan  $4\sqrt{3}$  N
  - $4\sqrt{3}$  N dan 4 N
  - 4 N dan  $4\sqrt{3}$
13. Seseorang akan menyeberang sungai dengan perahu. Orang itu mengarahkan perahu tegak lurus arah arus sungai. Jika vektor kecepatan arus dinyatakan dengan  $\vec{v}_a = 3\hat{i}$  m/s dan kecepatan perahu dinyatakan dengan  $\vec{v}_p = 6\hat{j}$  m/s, besar kecepatan yang dialami perahu adalah . . . m/s.
- 3
  - $3\sqrt{2}$
  - $3\sqrt{5}$
  - $6\sqrt{2}$
  - 9
14. Diketahui  $\vec{A} = 5\hat{i} + 7\hat{j} - \hat{k}$  dan  $\vec{B} = 2\hat{j} - 4\hat{k}$ . Hasil dari  $2\vec{A} + \vec{B}$  adalah . . . .
- $12\hat{i} + 16\hat{j} - 6\hat{k}$
  - $10\hat{i} - 16\hat{j} - 6\hat{k}$
  - $10\hat{i} + 16\hat{j} - 6\hat{k}$
  - $5\hat{i} + 16\hat{j} - 6\hat{k}$
  - $5\hat{i} + 9\hat{j} - 5\hat{k}$
15. Dua buah gaya yang besarnya 6 N dan 10 N membentuk sudut  $60^\circ$ . Besar resultan penjumlahan kedua gaya tersebut adalah ....
- $14\sqrt{6}$  N
  - $14\sqrt{3}$  N
  - 14 N
  - $4\sqrt{19}$  N
  - $4\sqrt{38}$  N
16. Momentum merupakan hasil kali massa dengan kecepatan. Sebuah kelereng yang mempunyai massa 10 gram bergerak dengan persamaan kecepatan  $\vec{v} = (2\hat{i} + 3\hat{j} - 6\hat{k})$  m/s. Besar momentum yang dimiliki kelereng tersebut adalah ... kgm/s.
- 70
  - 7
  - 0,7
  - 0,07
  - 0,007
17. Diketahui  $\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}$  dan  $\vec{B} = 2\hat{j} - 4\hat{k}$ . Hasil dari  $\vec{A} \cdot \vec{B}$  dan  $\vec{A} \times \vec{B}$  berturut-turut adalah . . . .
- 12 dan  $-4\hat{i} + 4\hat{j} + 2\hat{k}$
  - 12 dan  $4\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
  - 12 dan  $-2\hat{i} - 4\hat{j} + 4\hat{k}$
  - 4 dan  $-4\hat{i} - 4\hat{j} + 2\hat{k}$
  - 4 dan  $4\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
18. Di ketahui vektor  $P = 6\hat{i} + 12\hat{j}$  dan  $\vec{Q} = a\hat{i} + b\hat{j}$ . Jika kedua vektor saling tegak lurus, maka . . . .
- $a = -\frac{1}{3}b$
  - $a = -\frac{1}{2}b$
  - $a = \frac{1}{2}b$
  - $a = \frac{1}{3}b$
  - $a = \frac{1}{2}b$
19. Pernyataan berikut yang benar adalah . . . .
- $\vec{A} - \vec{B} = -\vec{A} + \vec{B}$
  - $\vec{A} \cdot \vec{B} = -\vec{B} \cdot \vec{A}$
  - $\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{A} \times \vec{B}$
  - $\vec{A} \times \vec{B} = \vec{B} \times \vec{A}$
  - $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$
20. Dua buah partikel bergerak dari satu titik. Partikel pertama bergerak dengan persamaan kecepatan  $\vec{v} = 2\hat{i} + 4\hat{j}$ , sedangkan partikel kedua bergerak dengan kecepatan  $\vec{v} = -2\hat{i} + 4\hat{j}$ . Jika besar resultan kedua vektor 44, maka sudut yang dibentuk oleh kedua partikel tersebut adalah . . . .
- $120^\circ$
  - $90^\circ$
  - $60^\circ$
  - $45^\circ$
  - $30^\circ$

**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

- Sebutkan ketujuh besaran pokok lengkap dengan lambang, satuan, dan dimensinya.
- Tentukan dimensi dari besaran-besaran berikut.
  - percepatan,
  - gaya
  - energi kinetik yang dirumuskan  $E_K = \frac{1}{2}mv^2$
- Tuliskan dengan notasi ilmiah dan awalan-awalan hasil pengukuran berikut.
  - Jarak rata-rata bumi ke matahari adalah 149.000.000.000 m.
  - Bilangan Avogadro adalah 602.300.00 0.000.000.000.000 mol/gram.
  - Nilai viskositas air pada suhu 0°C adalah 1.010 NS/m<sup>2</sup>.
  - Waktu paruh dari  ${}_{84}\text{Po}^{214}$  adalah 0,00016 s.
- Hitunglah menggunakan aturan angka penting.
  - Luas bola berjari 7 cm
  - Volume balok berukuran 30,0 cm × 20,09 cm × 25,2 cm
  - Massa jenis benda yang volumenya 40 liter dan massanya 40 kg.
- Budi melakukan pengukuran arus sebanyak 8 kali. Ia mendapatkan data sebagai berikut: 2,5 A; 2,6 A; 2,8 A; 2,4 A; 2,5 A; 2,7 A; 2,8 A; dan 2,6 A. Bagaimana Budi harus melaporkan hasil pengukurannya?
- Lengkapilah tabel berikut.

No	Besaran Satuan	Satuan	Rumus Pokok	Dimensi
1	Kecepatan	m/s	...	...
2	Percepatan	...	$a = \frac{V}{t}$	...
3	Gaya	...	$F = ma$	...

4	Momen-tum	kg m/s	...	...
5	Perpindah-an	...	...	[L]
6	Momen gaya	...	...	[M][L] <sup>2</sup> [T] <sup>2</sup>
7	...	N/C	$E = \frac{F}{q}$	...

- Seekor ikan louhan berada di aquarium berukuran panjang 1 m, lebar 0,80 m, dan tinggi 0,60 m. Nyatakan dan hitung besar vektor posisi ikan louhan dari sebuah sudut di dasar aquarium ketika ikan louhan berada tepat di tengah-tengah permukaan air.
- Kedudukan sebuah pesawat pada pukul 07.30 WIB dilaporkan pada posisi  $\vec{P}_1 = (60\hat{i} + 80\hat{j})$  km dari sebuah menara. Selang 1 jam kemudian, kapal tersebut telah berada pada posisi  $\vec{P}_2 = (100\hat{i} + 50\hat{j})$  km. Gambarkan vektor posisi pesawat pada pukul 07.30 WIB dan pukul 08.30 WIB. Berapakah besar perpindahan kapal dalam selang waktu 1 jam tersebut?
- Tiga buah vektor diberikan dengan persamaan,  $\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j}$ ,  $\vec{B} = -\hat{i} - 2\hat{j}$  dan  $\vec{C} = -2\hat{i} + 4\hat{j}$ . Tentukan dan gambarkan hasil operasi penjumlahan berikut menggunakan metode analitis dan metode poligon.
  - $\vec{A} + 2\vec{B}$
  - $\vec{B} - 2\vec{A}$
  - $\vec{A} + \vec{B} - \vec{C}$
- Dari vektor pada soal nomor 9, tentukan:
  - $\vec{A} \cdot \vec{B}$
  - $-\vec{B} \cdot \vec{A}$
  - $\{\vec{A} \cdot \vec{B}\} \cdot \vec{C}$
  - $\{\vec{A} \cdot \vec{B}\} \times \vec{C}$

# B a b III

## Gerak Lurus



[www.motosport.co.yu](http://www.motosport.co.yu)

**V**alentino Rossi adalah seorang pembalap tangguh di ajang MotoGP. Sampai tahun 2005, ia telah menjadi juara dunia tujuh kali. Pada uji coba di Sirkuit Sepang, Malaysia, “*the Doctor*”, julukan Valentino Rossi, mampu mencatat waktu tercepat. Waktu rata-rata yang ia perlukan untuk menempuh lintasan sepanjang 5,5 km adalah 2 menit 02,140 sekon atau 122,140 sekon, setelah melewati 75 putaran/lap. Dengan catatan waktu tersebut, berarti kelajuan rata-rata Rossi adalah 45,030 m/s atau 162,108 km/jam. Dari ilustrasi tersebut, kita dapat menemukan beberapa konsep fisika antara lain, gerak, panjang lintasan, waktu tempuh, dan kelajuan. Apa saja konsep-konsep fisika yang terdapat dalam arena balap MotoGP? Untuk lebih jelasnya, mari kita pelajari bab ini dengan sungguh-sungguh.





Banyak sekali konsep fisika yang dapat dipelajari dari arena balap mobil atau balap motor. Salah satu konsep fisika yang mendasari arena ini adalah konsep gerak lurus. Di bab ini, kalian akan mengetahui lebih banyak tentang konsep gerak lurus. Kemampuan untuk menganalisis besaran-besaran fisika pada gerak lurus dengan kecepatan konstan maupun pada percepatan konstan perlu kalian kuasai. Selain itu, analisis grafik pada gerak lurus dengan kecepatan konstan ataupun gerak lurus dengan percepatan konstan juga perlu dikuasai dengan baik. Dengan penjelasan yang diberikan dan melakukan serangkaian percobaan sederhana, niscaya kemampuan menganalisis besaran dan grafik tersebut dapat kalian kuasai.

## A Pengertian Gerak

Dalam aktivitas kita sehari-hari, kita tidak pernah lepas dari gerak. Kita berangkat sekolah dikatakan bergerak. Menulis, berjalan, olahraga, bersepeda, dan aktivitas lainnya tidak lepas dari gerak. Bilamanakah suatu benda dikatakan bergerak? Untuk menyegarkan ingatan kalian tentang gerak, renungkan kejadian yang disajikan dalam *Eureka* berikut.

### Eureka

Tontonlah balap MotoGP di televisi bersama teman-teman kalian. Kemudian, diskusikan jawaban pertanyaan berikut dengan teman kalian.

1. Saat berada dalam posisi siap di garis start sebelum perlombaan dimulai, apakah para pembalap berpindah dari suatu tempat ke tempat lain? Apakah para pembalap bisa dikatakan bergerak oleh penonton?
2. Ketika perlombaan sudah dimulai, apakah para pembalap berpindah dari titik asalnya (garis start) ke tempat lain? Apakah para pembalap ini bisa dikatakan bergerak jika acuannya garis start?
3. Perhatikan pembalap ketika disorot oleh kamera yang berada di atas motornya. Apakah pembalap tersebut berpindah meninggalkan atau mendekati kamera? Bisakah pembalap ini dikatakan bergerak jika acuannya kamera tersebut?
4. Sebagai penonton kita mengatakan pembalap dan motornya bergerak. Namun, jika acuannya motor atau kamera di atas motor, pembalap tersebut tidak bergerak. Mengapa hal ini terjadi?
5. Apakah yang dimaksud dengan gerak?

Buatlah kesimpulan dari hasil diskusi kalian. Cobalah untuk mempresentasikan jawaban kalian di depan kelas.

Dari cerita di depan dan hasil diskusi kalian, Valentino Rossi dan pembalap lainnya bergerak menjauhi atau mendekati penonton dan garis start yang diam. Begitu pula dengan pembalap Superbike, F-1, dan Nascar, juga dikatakan bergerak oleh penonton. Penonton dan garis start disebut

acuan gerak para pembalap. Namun, ketika kamera yang berada di atas motor atau mobil menjadi acuan gerak, maka para pembalap dikatakan tidak bergerak terhadap kamera. Mengapa?

Dalam bergerak, para pembalap meninggalkan atau menuju acuan tertentu. Dengan kata lain, para pembalap mengalami perubahan kedudukan dari acuan tertentu. Namun, ketika acuan geraknya adalah kamera di atas motor, para pembalap tampak tidak bergerak. Ini terjadi karena para pembalap yang berada di atas motor tidak mengalami perubahan kedudukan dari kamera tersebut. Jadi, **suatu benda dikatakan bergerak jika terjadi perubahan kedudukan dari acuan tertentu.**

Dari pengertian gerak, kita dapat menyimpulkan bahwa gerak suatu benda dipengaruhi oleh acuannya. Benda yang dianggap bergerak oleh suatu acuan tertentu, belum tentu dikatakan bergerak oleh acuan yang lain.

Sebagai contoh, ketika kalian naik mobil yang sedang melaju, kalian dan mobil dikatakan bergerak oleh orang yang berada di luar mobil. Namun, ketika supir mobil melihat kalian, ia melihat kalian tidak bergerak. Dengan kata lain, kita bergerak ketika acuannya orang di luar mobil, tetapi kita tidak bergerak jika acuannya sopir mobil.



Gambar 3.1 Pembalap diam jika acuannya kamera di atas mobil.



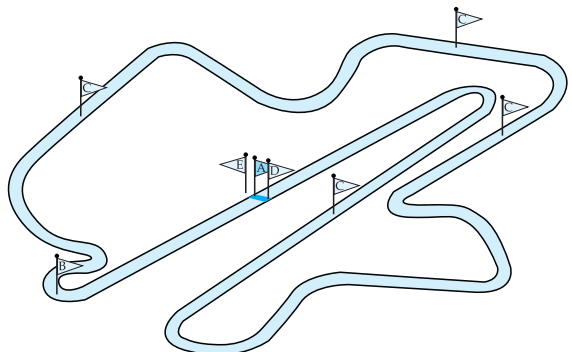
Gambar 3.2 Mobil dan para penumpang bergerak jika acuannya orang di pinggir jalan. Namun, penumpang diam jika acuannya supir mobil.

## B Jarak dan Perpindahan

Dari data reportase di depan, Valentino Rossi mampu melewati lintasan sepanjang 5,5 km pada setiap putaran atau lap dengan waktu 122,140 sekon. Satu putaran dihitung dari garis start dan berakhir di garis start itu juga, yang sekaligus garis finish. Dengan melihat lintasan yang dilaluinya, Rossi menempuh jarak 5,5 km atau sama dengan panjang lintasan. Namun, perpindahan Rossi adalah nol.

Di MTs/SMP, kalian sudah mempelajari perbedaan antara jarak dengan perpindahan. **Jarak** adalah panjang lintasan yang ditempuh dalam selang waktu tertentu. Jarak merupakan besaran skalar yang tidak tergantung pada arah. Sementara **perpindahan** adalah perubahan kedudukan atau posisi dalam selang waktu tertentu. Perpindahan dihitung dari kedudukan awal dan kedudukan akhir atau perpindahan merupakan jarak terdekat dari kedudukan awal sampai kedudukan akhir. Bagaimanakah penjelasan dari kasus Rossi di atas? Perhatikan Gambar 3.3.

Pada arena balap motor, start dan finish berada pada satu garis. Satu putaran dihitung dari garis start sampai garis start lagi. Pada setiap putaran, jarak yang ditempuh pembalap sama dengan panjang lintasan yang dilaluinya. Misalnya, untuk melakukan 1 kali putaran, para pembalap



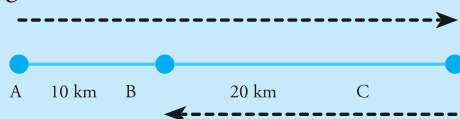
Gambar 3.3 Garis start dan finish pada sirkuit balap berada pada satu garis.

menempuh lintasan dari titik A menuju titik D melalui titik B dan C. Jarak yang ditempuh oleh para pembalap adalah jarak A ke B ditambah jarak B ke C ditambah jarak C ke D, tanpa memperhatikan arahnya. Sementara itu, perpindahan dalam satu putaran adalah perubahan kedudukan dari titik A ke titik D. Karena kedudukan awal di titik A sama dengan kedudukan akhir di titik D, maka perpindahannya sama dengan nol.

Untuk menambah pemahaman kalian tentang perbedaan jarak dan perpindahan, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seseorang mengendarai mobil dari A menuju C kemudian berbalik menuju B. Perhatikan gambar berikut.



- Dari gambar tersebut, berapakah jarak yang ditempuh? Berapa pula perpindahannya?
- Jika mobil bergerak dari A menuju C kemudian berbalik menuju A lagi, berapakah jarak yang ditempuh? Berapa pula perpindahan mobil tersebut?

**Penyelesaian:**

**Jawab**

- Jarak tempuh = jarak AC + jarak CB  

$$= \text{jarak AB} + \text{jarak BC} + \text{jarak CB}$$

$$= 10 \text{ km} + 20 \text{ km} + 20 \text{ km}$$

$$= 50 \text{ km}$$

$$\text{Perpindahan} = \overline{AB}$$

$$= 10 \text{ km.}$$

$$\text{Perpindahan} = \overline{AC} - \overline{CB} \text{ (arah berlawanan)}$$

$$= 30 - 20$$

$$= 10 \text{ km.}$$

Jadi, jarak tempuhnya adalah 50 km dan perpindahannya 10 km.

- Jarak tempuh = jarak AC + jarak CA  

$$= 30 + 30$$

$$= 60 \text{ km.}$$

$$\text{Perpindahan} = \overline{AC} - \overline{CB}$$

$$= 30 - 30$$

$$= 0 \text{ km.}$$

Jadi, jarak tempuhnya 60 km dan perpindahan 0 km.

Nah, sekarang coba kalian renungkan setiap kejadian dalam *Ekspedisi* berikut.

## **E**kspedisi

**Renungkanlah kejadian-kejadian berikut, kemudian jawablah pertanyaan yang diajukan.**

- Seorang siswa melempar bola tenis ke arah tembok yang berada 4 m dari tempatnya berdiri. Setelah mengenai tembok, bola memantul kembali kepada siswa tersebut. Siswa tersebut mengatakan bahwa bola berpindah sejauh 8 m. Benarkah perkataan siswa tersebut? Apa alasan kalian?
- Kalian mungkin pernah mendengar pernyataan bahwa jarak matahari ke bumi berubah pada waktu pagi, siang, dan sore.

Jarak terdekat terjadi pada pukul 12 siang. Bagaimanakah kalian menyikapi pernyataan ini?

- Dari Yogyakarta kalian akan menuju Jakarta. Teman kalian mengatakan bahwa dengan naik pesawat, jarak Yogyakarta-Jakarta menjadi lebih pendek daripada naik kereta api. Bagaimana pendapat kalian mendengar perkataan teman kalian itu?

Tuliskan hasil renungan kalian pada selembar kertas. Kemudian, bandingkan hasilnya dengan jawaban teman lainnya.

## C Kelajuan dan Kecepatan

Dari ilustrasi di awal bab, Rossi memacu motornya dengan kelajuan 45,030 m/s atau 162,108 km/jam. Mengapa kita menyatakannya dalam kelajuan, bukan kecepatan? Apakah perbedaan antara kelajuan dan kecepatan? Kebanyakan orang menganggap kelajuan dan kecepatan adalah sama. Anggapan ini dapat kita jumpai ketika orang menyatakan angka yang ditunjukkan oleh spidometer yang ada di motor atau mobil adalah kecepatan. Sebenarnya angka pada spidometer menunjukkan kelajuan bukan kecepatan.

Dalam fisika, kelajuan dan kecepatan merupakan dua hal yang berbeda. Ketika mempelajari Vektor di bab II, kalian telah mengetahui bahwa kelajuan merupakan besaran skalar, sedangkan kecepatan adalah besaran vektor. Jika kita membicarakan kelajuan suatu benda, kita tidak akan membicarakan arah benda tersebut. Namun, saat kita membicarakan kecepatan suatu benda, kita membicarakan arah benda tersebut. Dalam peristiwa tertentu kelajuan merupakan besar atau nilai dari kecepatan.

Kelajuan dapat dihitung dari jarak atau panjang lintasan yang ditempuh dibagi waktu tempuh. Kelajuan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{kelajuan} = \frac{\text{jarak (distance)}}{\text{waktu}}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

**Keterangan:**  $v$  = kelajuan (meter/sekon)  
 $s$  = jarak tempuh (meter)  
 $t$  = waktu tempuh (sekon)

Sementara itu, kecepatan dihitung dari perpindahan (perubahan kedudukan) dibagi waktu tempuh.

$$\text{kecepatan} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}}$$

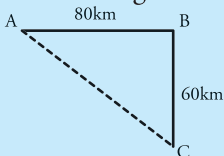
$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

**Keterangan:**  $\vec{v}$  = kecepatan (m/s)  
 $\vec{s}$  = perpindahan (m)  
 $t$  = waktu tempuh (s)

Pada subbab sebelumnya, kalian sudah bisa mencari jarak dan perpindahan. Untuk memudahkan kalian dalam memahami pengertian kelajuan dan kecepatan, pelajailah contoh berikut.

### Contoh

Perhatikan gambar berikut.



Andi menempuh perjalanan dari titik A ke titik B kemudian ke C dengan waktu 10 menit. Berapakah jarak dan perpindahan yang ditempuh? Berapakah pula kelajuan dan kecepatan orang tersebut?

### Tips & Trik

Kelajuan ( $v$ ) berbeda dengan kecepatan ( $\vec{v}$ ). Demikian pula jarak ( $s$  = distance) berbeda dengan perpindahan ( $\vec{s}$  = displacement). Perhatikan tanda vektor di atas huruf. Pada buku fisika yang lain, kadang perpindahan disimbolkan dengan huruf  $\vec{x}$  atau  $\vec{d}$ .

### Penyelesaian:

**Diketahui:** Jarak AB = 80 m,  
Jarak BC = 60 m  
Waktu ( $t$ ) = 10 menit  
= 600 sekon

**Ditanyakan:** a)  $s$  dan  $\vec{s}$   
b)  $v$  dan  $\vec{v}$

**Jawab:**

a) Jarak tempuh ( $s$ ) = jarak AB + jarak BC  
= 80 m + 60 m  
= 140 m.

$$\begin{aligned}\text{Perpindahan } (\vec{s}) &= \text{jarak AC} \\ &= \sqrt{AB^2 + BC^2} \\ &= \sqrt{80^2 + 60^2} \\ &= \sqrt{6.400 + 3.600} \\ &= \sqrt{10.000} \\ &= 100 \text{ m.}\end{aligned}$$

Jadi, jarak yang ditempuh Andi 140 m dengan perpindahan 100 m.

b) Kelajuan dapat dihitung dengan rumus:

$$v = \frac{\text{jarak tempuh } (s)}{\text{waktu } (t)}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{140}{600} \\ &= 0,233 \text{ m/s}\end{aligned}$$

kecepatannya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \frac{\text{perpindahan } (\vec{s})}{\text{waktu } (t)} \\ &= \frac{100}{600} \\ &= 0,16 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Jadi, Andi menempuh perjalanan dengan kelajuan 0,23 m/s dan kecepatan 0,16 m/s menuju ke C.

## 1. Kelajuan Rata-Rata dan Kecepatan Sesaat

Perhatikan kembali cerita pada awal bab ini. Dalam cerita tersebut, setelah menyelesaikan 75 putaran, kelajuan rata-rata Rossi untuk menempuh satu putaran adalah 45,030 m/s atau 162,108 km/jam. Kelajuan rata-rata ini dihitung dari total jarak yang ditempuh dibagi total waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut. Kelajuan rata-rata dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{kelajuan rata-rata} = \frac{\text{total jarak yang ditempuh}}{\text{total waktu yang diperlukan}}$$

$$v_{\text{rata-rata}} = \frac{s}{t}$$

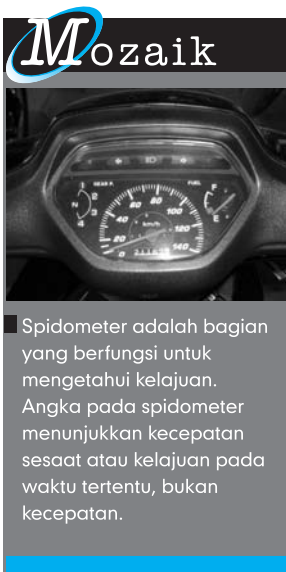
**Keterangan:**  $v_{\text{rata-rata}}$  = kelajuan rata-rata (m/s)

$s$  = jarak tempuh (m)

$t$  = waktu tempuh (s).

Bagaimanakah dengan kelajuan dan kecepatan sesaat? Kelajuan sesaat adalah total jarak yang ditempuh suatu benda pada selang waktu yang sangat pendek. Sementara itu, kecepatan sesaat adalah total perpindahan yang ditempuh suatu benda pada selang waktu yang sangat pendek. Karena kecepatan sesaat terjadi pada waktu yang sangat pendek, maka kelajuan merupakan besar/nilai kecepatan sesaat. Kecepatan sesaat dirumuskan:

$$\vec{v}_{\text{sekat}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$



Spidometer adalah bagian yang berfungsi untuk mengetahui kelajuan. Angka pada spidometer menunjukkan kecepatan sesaat atau kelajuan pada waktu tertentu, bukan kelajuan.

Dari persamaan di atas,  $\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$  dihitung untuk  $\Delta t$  mendekati 0 sekon, sehingga  $\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$  mendekati harga tertentu.

Untuk membantu kalian dalam memahami uraian tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah becak bergerak ke arah barat pada jalan lurus sejauh 500 m selama 5 menit. Setelah itu, becak berbelok ke utara sejauh 300 m selama 2,5 menit. Hitunglah kelajuan rata-rata becak tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $s_1 = 500 \text{ m}$

$t_1 = 5 \text{ menit} = 300 \text{ s}$

$s_2 = 300 \text{ m}$

$t_2 = 2,5 \text{ menit} = 150 \text{ s}$

**Ditanyakan:** kelajuan rata-rata

**Jawab:**

Untuk mencari kelajuan rata-rata, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{kelajuan} &= \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} \\ &= \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} \\ &= \frac{500 + 300}{300 + 150} \\ &= \frac{800}{450} \\ &= 1,78 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kelajuan becak adalah 0,16 m/s.

## 2. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Pada arena MotoGP, suatu saat para pembalap akan melewati lintasan yang lurus. Kalau kalian memperhatikan gerak para pembalap saat melewati garis lurus dalam selang waktu tertentu, maka para pembalap bergerak dengan kecepatan tetap. Gerak pembalap ini disebut gerak lurus beraturan atau disingkat GLB. Jadi, **gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap pada selang waktu tertentu**. Untuk menyelidiki karakteristik GLB, lakukan *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen Menyelidiki GLB dengan Ticker Timer

### A. Dasar Teori

Gerak lurus beraturan adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap/konstan. Untuk menyelidiki karakteristik GLB, kita bisa menggunakan *ticker timer*. *Ticker timer* adalah alat yang dapat memberikan ketukan pada pita dengan frekuensi yang tetap, sehingga meninggalkan jejak pada pita. *Ticker timer* ini bisa digunakan untuk menyelidiki hubungan antara perpindahan dengan waktu tempuh suatu benda.

Ketika kita menghidupkan sumber tegangan (*power supply*) (12 volt, 50 Hz), *ticker timer* akan bergetar pada frekuensi 50 Hz. Artinya bahwa dalam waktu 1 sekon, *ticker*

*timer* akan memberikan 50 ketukan yang terlihat dari titik hitam pada pita. Jarak yang ditempuh dalam waktu 0,02 sekon adalah jarak dari dua titik pada pita.

Pada peristiwa gerak lurus beraturan, benda mempunyai kecepatan tetap setiap waktu. Dengan kecepatan yang tetap ini, berarti dalam selang waktu yang sama, benda akan menempuh jarak yang sama pula.

## B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan percobaan ini, kalian diharapkan mampu:

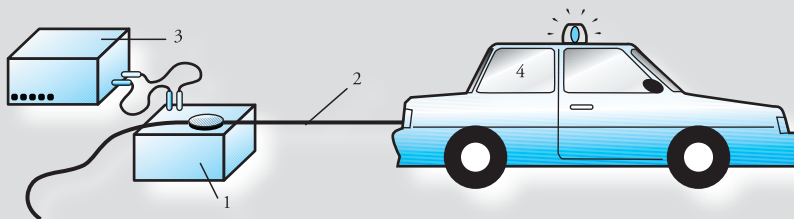
- Menyelidiki gerak lurus beraturan dengan *ticker timer*
- Menyelidiki hubungan antara jarak ( $s$ ) dan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus beraturan
- Menyelidiki hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus beraturan

## C. Alat dan Bahan

- |                                            |                     |
|--------------------------------------------|---------------------|
| 1. <i>Ticker timer</i>                     | 5. <i>Stopwatch</i> |
| 2. Pita <i>ticker timer</i>                | 6. Gunting          |
| 3. Sumber tegangan ( <i>Power supply</i> ) | 7. Kertas grafik    |
| 4. Mobil-mobilan baterai                   |                     |

## D. Langkah Kerja

- Rangkailah alat seperti gambar berikut.



- Hidupkan *power supply*, *ticker timer*, dan mobil-mobilan. Usahakan mobil-mobilan bergerak pada lintasan lurus dengan cara membuatkan jalur di kanan-kiri mobil-mobilan tersebut.
- Setelah beberapa saat, misalnya 5 sekon, matikan *ticker timer*. Kemudian, ambil pita *ticker timer*. Buanglah beberapa titik hitam pada pita bagian depan (bagian pita yang paling dekat dengan mobil-mobilan).
- Guntinglah pita dalam beberapa bagian, dengan setiap bagian mempunyai 5 titik.
- Ukurlah panjang setiap potongan pita.
- Tempelkan tiap potongan pita pada kertas grafik. Bagian depan pita berada di paling kiri, dan bagian belakang berada di paling kanan, sehingga diperoleh diagram batang.
- Amatilah diagram batang yang kalian peroleh.
- Buatlah grafik hubungan antara jarak ( $s$ ) dan waktu ( $t$ ) dengan cara menghubungkan titik nomor 1 pada potongan pita paling kiri dengan titik nomor 2 pada potongan pita kedua, titik nomor 3 pada potongan pita ke tiga dan seterusnya sampai titik teratas pada potongan pita paling kanan.
- Buatlah grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dan waktu ( $t$ ) dengan cara menghubungkan satu titik pada nomor yang sama dari setiap potongan pita yang telah tersusun.



### E. Pembahasan

1. Mengapa kita harus membuang beberapa titik bagian depan pita?
2. Adakah perbedaan panjang antara potongan pita yang satu dengan potongan pita lainnya?
3. Perhatikan grafik jarak dan waktu yang kalian buat. Dari grafik tersebut, bagaimanakah hubungan antara jarak dan waktu tempuhnya?
4. Bagaimanakah hasil bagi antara jarak dan waktu tempuh pada setiap dua titik?
5. Perhatikan grafik kelajuan dan waktu yang kalian buat. Dari grafik tersebut, bagaimanakah hubungan antara kelajuan dan waktu tempuhnya?
6. Dari percobaan yang kalian lakukan, bagaimanakah karakteristik gerak lurus beraturan?
7. Apa yang dapat kalian simpulkan dari eksperimen ini?

Buatlah laporan dari hasil eksperimen kalian dengan memperhatikan cara penulisan laporan yang baik dan benar. Kemudian, kumpulkan kepada guru kalian.

Grafik hubungan antara jarak dan waktu berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. **Kemiringan garis (gradien garis) menyatakan kelajuan gerak benda.** Pada bab II tentang vektor, kalian telah mengetahui cara mencari gradien sebuah garis. Dari grafik pada Gambar 3.4, kita dapat mencari rumus kelajuan dalam selang waktu  $t_0$  sampai  $t_1$ , sebagai berikut.

$$v = \frac{s_1 - s_0}{t_1 - t_0}$$

Sedangkan untuk selang waktu dari  $t_0$  sampai  $t$ , kecepatan dirumuskan:

$$v = \frac{s_t - s_0}{t - t_0}$$

dengan  $s_t - s_0 = \Delta s$  dan  $t_0 = 0$ , maka :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

**Keterangan:**  $v$  = kelajuan (m/s)

$s_0$  = jarak pada saat  $t = 0$  s (m)

$s_1$  = jarak setelah menempuh waktu 1 s (m)

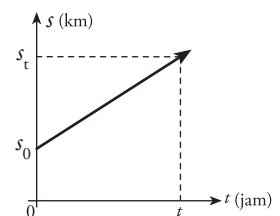
$s_t$  = jarak setelah menempuh waktu  $t$  s (m)

$t$  = waktu (s)

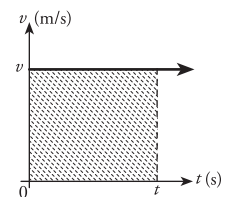
Selain grafik hubungan antara jarak dan waktu, kita juga mendapatkan grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) seperti Gambar 3.5.

Dari gambar tersebut, tampak bahwa grafik hubungan kelajuan dengan waktu berupa garis lurus mendatar. Dari grafik tersebut, kita dapat melihat bahwa kelajuan pada setiap saat adalah sama atau konstan. Sementara itu, jarak pada selang waktu tertentu ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.

$$s = v(t - t_0)$$



Gambar 3.4 Grafik hubungan jarak ( $s$ ) dan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus beraturan



Gambar 3.5 Grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus beraturan.



Untuk  $t_0 = 0$ , maka

$$s = v t$$

Untuk mencari jarak akhir ( $s_t$ ), kita dapat menggunakan persamaan:

$$s_t = s_0 + v t$$

Agar kalian lebih mudah dalam memahami gerak lurus beraturan, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah kereta cepat berada 2 km dari stasiun. Kereta tersebut bergerak meninggalkan stasiun dengan kelajuan tetap 80 km/jam. Pada jarak berapakah kereta itu dilihat dari stasiun setelah 15 menit?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $v = 80$  km/jam

$$s_0 = 2 \text{ km.}$$

$$t = 15 \text{ menit} = 0,25 \text{ jam.}$$

**Ditanyakan:**  $s_t$

**Jawab:**

Jarak kereta dapat dicari dengan rumus berikut.

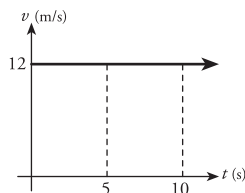
$$\begin{aligned} s_t &= s_0 + vt \\ &= 2 + (80 \times 0,25) \\ &= 2 + 20 \\ &= 22 \text{ km} \end{aligned}$$

Jadi, setelah 15 menit, kereta berada 22 km dari stasiun.

Setelah kalian menguasai materi tersebut, kerjakan *Uji Kompetensi* di bawah ini.

## Uji Kompetensi

1. Rio pergi ke rumah Tino pada pukul 10.15. Ia pergi mengendarai motor dan sampai di tempat Tino pukul 11.40 WIB. Jika jarak rumah Rio dan Tino 60 km, berapakah kelajuan rata-rata motor Rio?
2. Pada hari minggu pagi, Fahri berlari-lari kecil mengelilingi lapangan. Ia mampu berlari 3 kali putaran dalam waktu 10 menit. Jika Fahri berlari dengan kelajuan tetap 10 km/jam, berapakah keliling lapangan tersebut?
3. Pada waktu yang sama, dua buah mobil bergerak menuju arah yang sama. Mobil A berada 500 m di depan mobil B dan bergerak dengan kelajuan tetap 40 km/jam. Berapakah kelajuan mobil B agar dapat sejajar dengan mobil A dalam waktu 30 menit?
4. Seseorang melakukan perjalanan dari suatu kota ke kota lain. Perjalanannya dapat digambarkan pada grafik berikut.



Dari grafik tersebut, berapakah jarak yang ditempuh pada selang waktu 5-10 sekon?

Saat kalian menonton balap MotoGP, coba perhatikan kecepatan pembalap ketika berada di lintasan lurus. Saat berada di lintasan lurus, para pembalap bergerak dengan laju semakin cepat. Namun, saat berada di tikungan, pembalap mengurangi laju motornya. Disebut apakah penambahan dan pengurangan kecepatan ini? Temukan jawabannya di bawah ini.

### 1. Pengertian Percepatan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita selalu berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Seperti telah dijelaskan di depan, saat berpindah dari satu tempat ke tempat lain, kita mempunyai kecepatan tertentu. Misalnya, saat berangkat ke sekolah, kalian berjalan dengan kecepatan tertentu. Kalian bisa berjalan lambat, cepat, atau terkadang lambat terkadang cepat.

Jika kalian berjalan semakin lama semakin cepat, berarti kalian mengalami **percepatan**. Sementara jika berjalan semakin lama semakin lambat, berarti kalian mengalami **perlambatan**. Dari penjelasan tentang percepatan dan perlambatan tersebut, ada satu hal yang menghubungkan keduanya, yaitu adanya perubahan kecepatan. Jadi, perlambatan dan percepatan pada intinya adalah sama, yaitu menunjukkan perubahan kecepatan setiap waktu. Perbedaan antara percepatan dan perlambatan terletak pada arahnya. Arah perlambatan berlawanan dengan arah percepatan. Jadi, **percepatan (*acceleration*) adalah laju perubahan kecepatan terhadap waktu.**

Suatu benda yang bergerak mempunyai percepatan yang berubah-ubah. Dengan demikian, kita tidak dapat menghitung percepatan secara tepat. Yang bisa kita hitung adalah percepatan sesaat benda tersebut.

### 2. Percepatan Sesaat

Misalkan pada saat  $t_1$  sebuah benda yang sedang berada di A sedang bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}_1$ . Pada saat  $t_2$  berikutnya, ia berada di titik B dengan kecepatan  $\vec{v}_2$ . **Percepatan** benda selama bergerak dari A ke B tersebut didefinisikan sebagai **perubahan kecepatan dibagi selang waktu**. Percepatan yang dialami benda tersebut dapat ditulis dengan persamaan:

$$\text{percepatan} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{selang waktu}}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**Keterangan:**  $\vec{a}$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)  
 $\vec{v}_1$  = kecepatan awal (m/s)  
 $\vec{v}_2$  = kecepatan akhir (m/s)  
 $t_1$  = waktu awal/mula-mula (s)  
 $t_2$  = waktu akhir (s)

Dari persamaan tersebut, jika  $\vec{v}_2 > \vec{v}_1$ , nilai percepatannya positif, arah percepatan searah dengan kecepatan benda. Jika  $\vec{v}_2 < \vec{v}_1$ , nilai percepatannya negatif, arah percepatan berlawanan dengan arah kecepatan benda. Gerak benda dengan percepatan negatif berarti benda tersebut mengalami **perlambatan**.

Bagaimanakah cara kita menghitung percepatan dalam selang waktu yang sangat pendek ( $\Delta t$  mendekati nol)? **Percepatan benda pada selang waktu yang sangat pendek disebut percepatan sesaat.** Untuk menghitung percepatan sesaat, kita bisa menggunakan persamaan berikut.

$$\vec{a}_{\text{seaat}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{a}_{\text{seaat}} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Untuk meningkatkan pemahaman kalian, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Sebuah bus berhenti untuk menaikkan penumpang. Setelah penumpang naik, bus tersebut melanjutkan perjalanan ke utara. Setelah berjalan 20 sekon, kecepatan bus menjadi 36 km/jam. Berapakah besar percepatannya?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\vec{v}_1 = 0 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned}\vec{v}_2 &= 36 \text{ km/jam} \\ &= 36 (1000/3600) \text{ m/s} \\ &= 10 \text{ m/s} \\ \Delta t &= 20 \text{ sekon}\end{aligned}$$

**Ditanyakan:**  $\vec{a}$

**Jawab:**

Untuk mencari percepatan, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{10 - 0}{20} \\ &= 0,5 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Jadi, percepatan bus tersebut adalah  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

2. Seorang siswa mengendarai sepeda dengan kecepatan  $7,2 \text{ km/jam}$ . Pada suatu tanjak-

kan, siswa tersebut mengurangi kecepatannya sebesar  $0,5 \text{ m/s}^2$  selama 2 sekon. Berapakah kecepatan akhir siswa tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\vec{v}_1 = 7,2 \text{ km/jam}$

$$\begin{aligned}&= 7,2 (1.000 \text{ m}/3.600 \text{ s}) \\ &= 2 \text{ m/s.}\end{aligned}$$

$$\vec{a} = -0,5 \text{ m/s}^2 \text{ (tanda negatif menunjukkan perlambatan)}$$

$$t = 2 \text{ s}$$

**Ditanyakan:**  $\vec{v}_2$

**Jawab:**

Dari persamaan percepatan:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t}$$

Kita mendapatkan persamaan:

$$\begin{aligned}\vec{v}_2 &= \vec{v}_1 + \vec{a} t \\ &= 2 + (-0,5 \times 2) \\ &= 1 \text{ m/s} \\ &= 3,6 \text{ km/jam}\end{aligned}$$

Jadi, kecepatan akhirnya adalah  $3,6 \text{ km/jam}$ .

### 3. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Jika pada suatu benda percepatan atau perlambatan pada selang waktu tertentu konstan, maka benda tersebut dikatakan bergerak lurus berubah beraturan disingkat GLBB. Jadi, **gerak lurus berubah beraturan adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan percepatan tetap pada selang waktu tertentu.** Untuk mengetahui karakteristik GLBB, lakukan *Eksperimen* berikut.

## **Eksperimen** Menyelidiki GLBB dengan *Ticker Timer*

### **A. Dasar Teori**

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan percepatan tetap atau konstan. Untuk menyelidiki karakteristik GLBB, kita bisa menggunakan *ticker timer*. *Ticker timer* adalah alat yang dapat memberikan ketukan pada pita dengan frekuensi yang tetap, sehingga meninggalkan jejak pada pita. *Ticker timer* ini bisa kita gunakan untuk menyelidiki hubungan antara perpindahan dengan waktu tempuh suatu benda.

Pada peristiwa gerak lurus berubah beraturan, benda mempunyai percepatan tetap setiap waktu. Adanya percepatan ini berarti kecepatan benda selalu berubah-ubah setiap waktu. Semakin lama waktu benda bergerak, kecepatan benda akan semakin besar. Dengan kecepatan yang berubah, berarti dalam selang waktu yang sama benda akan menempuh jarak berbeda.

Contoh dari peristiwa gerak lurus beraturan dalam kehidupan sehari-hari adalah gerak benda yang jatuh bebas. Adanya gaya gravitasi menyebabkan benda yang jatuh bebas mengalami percepatan yang tetap sebesar percepatan gravitasi di tempat tersebut.

### **B. Tujuan Percobaan**

Setelah melakukan eksperimen ini, kalian akan mampu:

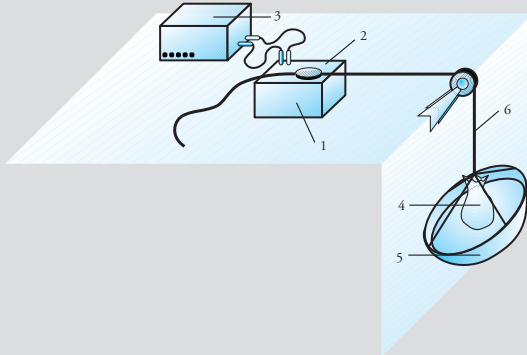
1. Menyelidiki karakteristik gerak lurus berubah beraturan dengan *ticker timer*.
2. Menyelidiki hubungan antara jarak ( $s$ ) dan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus berubah beraturan.
3. Menyelidiki hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada gerak lurus berubah beraturan.

### **C. Alat dan Bahan**

1. *Ticker timer*
2. Pita kertas
3. Sumber tegangan (*power supply*)
4. Beban 1 ons
5. Tempat beban
6. Penggaris
7. Benang
8. Gunting
9. Kertas grafik

#### D. Langkah Kerja

1. Rangkailah alat seperti gambar di bawah ini.



2. Hidupkan *power supply* dan *ticker timer*.
3. Pasanglah beban 1 ons pada tempat beban. Kemudian, biarkan beban terjatuh ke bawah.
4. Ambillah pita kemudian gunting pita tersebut dalam beberapa bagian dengan setiap bagian mempunyai 5 titik.
5. Ukurlah panjang setiap potongan pita.
6. Ulangilah langkah no sampai 5 sebanyak 3 kali.
7. Tempelkan tiap potongan pita pada kertas grafik. Bagian depan pita berada di paling kiri dan bagian belakang berada di paling kanan, sehingga diperoleh diagram batang.
8. Amatilah diagram batang yang Anda peroleh dari dua percobaan di atas.
9. Buatlah grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) dengan cara menghubungkan titik-titik yang berada paling atas dari setiap potongan pita yang telah tersusun.
10. Buatlah grafik hubungan antara percepatan ( $a$ ) dan waktu ( $t$ ) dengan cara menghubungkan titik nomor 1 pada potongan pita paling kiri dengan titik nomor 2 pada potongan pita kedua, titik nomor 3 pada potongan pita ke tiga dan seterusnya sampai titik teratas pada potongan pita paling kanan.

#### E. Pembahasan

1. Adakah perbedaan panjang dari setiap potongan kertas pita ?
2. Perhatikan grafik hubungan antara kecepatan den waktu yang Anda buat. Berbentuk apakah grafik tersebut? Dari grafik tersebut, bagian manakah yang menunjukkan percepatan?
3. Dari percobaan yang Anda lakukan, bagaimanakah karakteristik gerak lurus berubah beraturan?
4. Bagaimanakah bentuk grafik hubungan antara percepatan ( $a$ ) dengan waktu ( $t$ )? Bagian manakah dari grafik tersebut yang menunjukkan kecepatan?
5. Apa yang dapat Anda simpulkan dari eksperimen ini?

Buatlah laporan dari hasil eksperimen dengan memperhatikan cara penulisan laporan yang baik dan benar. Kemudian, kumpulkan laporannya kepada guru kalian.

Dari hasil eksperimen, kalian telah memahami karakteristik GLBB. Cocokkanlah grafik hasil percobaan kalian dengan grafik pada Gambar 3.6. Grafik tersebut merupakan grafik hubungan kelajuan dan waktu yang berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Kemiringan grafik atau gradien menunjukkan percepatan.

Dari grafik tersebut kita bisa mencari gradien garis sebagai berikut.

$$\text{gradien} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$

Dari persamaan tersebut, percepatan benda setelah  $t$  s adalah:

$$\frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$

Jika  $t_0 = 0$ , maka percepatan benda dapat dicari dengan persamaan:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

**Keterangan:**  $a$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )

$v_t$  = kelajuan pada saat  $t$  ( $\text{m/s}$ )

$v_0$  = kelajuan awal benda ( $\text{m/s}$ )

Dari persamaan percepatan tersebut, kelajuan benda pada saat  $t$  dapat dicari dengan persamaan:

$$v_t = v_0 + a t$$

Sementara itu, jarak benda ditunjukkan oleh daerah di bawah garis (daerah yang diarsir). Kita bisa mencari jarak benda dengan menghitung luas daerah yang diarsir sebagai berikut.

$$L.OAt = (v_0 \times t) + \frac{1}{2}(v_t - v_0) \times t$$

Jadi jarak yang di tempuh benda pada GLBB dapat dinyatakan sebagai berikut.

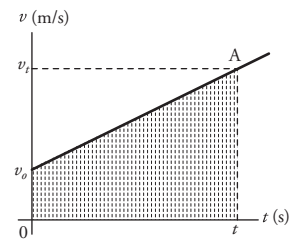
$$s = v_0 t + \frac{1}{2}(v_t - v_0)t$$

Dengan mensubstitusikan nilai  $v_t = v_0 + a t$ , kita mendapatkan persamaan.

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}(v_0 + at - v_0)t$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

Dari definisi jarak ( $s = s_t - s_0$ ), kita dapat mencari jarak yang ditempuh benda pada saat  $t$  dengan persamaan:



**Gambar 3.6** Grafik hubungan antara kelajuan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada GLBB.

## Tips & Trik

Untuk menyelesaikan soal yang berhubungan dengan GLBB, gunakan persamaan-persamaan berikut.

1.  $v_t = v_0 + a t$
2.  $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
3.  $s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
4.  $v_t^2 = v_0^2 + 2 a s$

$$s_t = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

**Keterangan:**  $s_t$  = jarak benda pada saat  $t$  (m)  
 $s_0$  = jarak benda semula (m)  
 $v_0$  = kelajuan benda (m/s)  
 $t$  = waktu (s)  
 $a$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

Dari persamaan  $v_t = v_0 + a t$ , kita mendapatkan nilai:

$$t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

Jika persamaan ini disubstitusikan ke persamaan, kita mendapatkan:

$$s = v_0 \left( \frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left( \frac{v_t - v_0}{a} \right)^2$$

$$s = \frac{v_0 v_t - v_0^2}{a} + \frac{v_t^2 - 2v_t v_0 + v_0^2}{2a}$$

$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mencari kelajuan benda setelah berpindah sejauh  $t$ . Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

**Teropong**

Pada pelajaran matematika, kita telah mempelajari sifat

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

## Contoh

Sebuah sepeda motor bergerak dengan kelajuan 54 km/jam. Pengendara sepeda motor kemudian mulai memperlambat motornya dengan perlambatan tetap. 4 menit setelah pengereman, sepeda motor tersebut berhenti. Tentukan:

- perlambatan sepeda motor,
- jarak yang ditempuh sepeda motor selama pengereman,
- kelajuan motor 1 menit setelah pengereman.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $v_0 = 54 \text{ km/jam} = 15 \text{ m/s}$   
 $v_t = 0 \text{ km/jam}$  (berhenti)  
 $t = 4 \text{ menit} = 240 \text{ s}$

**Ditanyakan:** a.  $a$   
 b.  $s$   
 c.  $v_t$  untuk  $t = 1 \text{ menit}$

**Jawab:**

- Dengan menggunakan persamaan  $v_t = v_0 + a t$ , kita dapat mencari  $a$  sebagai berikut.

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_t - v_0}{t} \\ &= \frac{0 - 15}{240} \\ &= -\frac{1}{16} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Jadi, perlambatan motor tersebut adalah  $\frac{1}{16} \text{ m/s}^2$ .

- Untuk mencari jarak yang ditempuh motor, gunakan persamaan:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 15 \times 240 + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{16}\right) \times 240^2 \\
 &= 3.600 - 1.800 \\
 &= 1.800 \text{ m} \\
 &= 1,8 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Jadi, jarak yang ditempuh motor selama pengereman adalah 1,8 km.

- c. Untuk mencari kelajuan pada saat  $t = 1$  menit (60 s), gunakan persamaan:

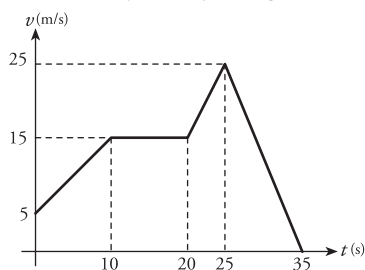
$$\begin{aligned}
 v_t &= v_0 + a t \\
 &= 15 + \left(-\frac{1}{6}\right) \times 60 \\
 &= 5 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Jadi, kelajuan motor pada saat  $t = 1$  menit adalah 5 m/s.

Untuk mengetahui tingkat penguasaan kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Abdullah berangkat sekolah dengan sepeda. Karena waktu sudah siang, Abdullah mengendarai sepeda semakin lama semakin cepat. Pada sekon pertama, kecepatan sepeda Abdullah adalah 12 km/jam. Jika percepatan sepeda Abdullah 3 km/jam<sup>2</sup>, berapakah kecepatan sepeda Abdullah saat  $t = 30$  sekon?
2. Pada perlombaan lari maraton, seorang pelari dapat menempuh jarak 18 km dalam waktu 30 menit pertama. Karena kelelahan, setiap sekon percepatan berkurang 0,2 m/s<sup>2</sup>. Berapakah total waktu mulai dari start sampai pelari tersebut tidak sanggup berlari lagi?
3. Sebuah kelereng menggelinding pada bidang miring dengan percepatan tetap 3,2 m/s<sup>2</sup>. Jika kelereng sebelum menggelinding diam, berapakah kelajuannya setelah 5 sekon?
4. Seekor kuda berlari di padang pasir. Kelajuan lari kuda pada saat  $t$ , ditunjukkan pada grafik berikut.



Dari grafik tersebut, tentukan:

- a. kelajuan kuda pada saat  $t = 20$  sekon,
- b. percepatan kuda pada selang waktu  $t = 10$  sekon dan  $t = 25$  sekon,
- c. jarak yang ditempuh kuda pada 10 sekon pertama,
- d. bagian grafik yang menunjukkan percepatan dan perlambatan.



- Bus Raharja melaju dengan kelajuan 72 km/jam. Pada jarak 50 meter dari lampu lalu-lintas, supir bus melihat lampu merah menyala. Ia kemudian mengerem laju busnya. Berapakah perlambatan yang harus diberikan agar bus berhenti tepat disamping lampu lalu-lintas dalam waktu 3 sekon?

## E Aplikasi GLB dan GLBB

Pada uraian berikut, kalian akan mempelajari penerapan GLB dan GLBB pada peristiwa yang sering kita jumpai, yaitu gerak benda vertikal ke bawah dan gerak vertikal ke atas.

### 1. Gerak Vertikal ke Bawah

Benda yang jatuh dari ketinggian tertentu dikatakan mengalami gerak vertikal ke bawah. Gerak vertikal ke bawah merupakan salah satu contoh gerak lurus berubah beraturan. Mengapa gerak jatuh bebas termasuk contoh GLBB? Perhatikan Gambar 3.8.

Dari gambar tersebut, kita dapat melihat lintasan bola yang berupa garis lurus. Perhatikan jarak dari setiap 2 bayangan bola. Kemudian, bandingkan jarak tersebut dengan jarak dua titik dari hasil percobaan GLBB dengan *ticker timer* pada eksperimen yang telah kalian lakukan di depan.

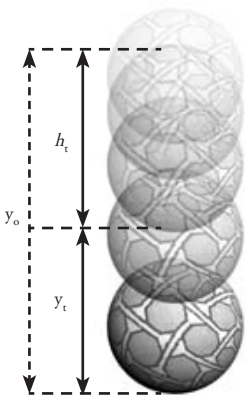
Kalau kalian memperhatikannya dengan teliti, bayangan yang dibentuk bola saat jatuh ke bawah mempunyai jarak yang semakin besar. Jarak yang semakin besar ini sama dengan jarak titik pada hasil eksperimen di depan. Dari hasil perbandingan tersebut, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa gerak vertikal ke bawah termasuk gerak lurus berubah beraturan.

Suatu benda yang melakukan GLBB, mempunyai percepatan yang tetap atau konstan. Benda yang melakukan gerak vertikal ke bawah mendapatkan percepatan dari adanya gaya gravitasi bumi. Percepatan yang dimiliki benda tersebut sebesar percepatan gravitasi ( $g$ ).

Persamaan pada GLBB berlaku pada gerak vertikal ke bawah dengan mengganti percepatan ( $a$ ) dengan percepatan gravitasi ( $g$ ) dan mengganti faktor perpindahan ( $s$ ) dengan perubahan ketinggian benda ( $h$ ). Jadi, pada gerak vertikal ke bawah berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\vec{v}_t &= \vec{v}_0 + gt \\ \vec{v}_t^2 &= \vec{v}_0^2 + 2gh_t \\ h_t &= \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

**Keterangan:**  $\vec{v}_t$  = kecepatan benda saat  $t$  s (m/s)  
 $\vec{v}_0$  = kecepatan awal benda (m/s)



Gambar 3.7 Contoh benda yang bergerak vertikal ke bawah.

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
 $h_t$  = ketinggian benda pada saat  $t$  (m)  
 $t$  = waktu jatuh (s)

Satu hal yang perlu diingat adalah  $h_t$  diukur dari kedudukan benda semula ke bawah, bukan dari tanah. Berdasarkan gambar 3.8,  $h_t$  dapat dihitung dari persamaan:

$$h_t = y_0 - y_t$$

Sehingga, ketinggian (posisi) benda pada saat  $t$  ( $y_t$ ) dapat dicari dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 y_0 - y_t &= \bar{v}_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \\
 y_t &= y_0 - \bar{v}_0 t - \frac{1}{2} g t^2
 \end{aligned}$$

**Keterangan:**  $y_t$  = posisi benda saat  $t$  (m)  
 $y_0$  = posisi benda mula-mula (m)

Benda yang bergerak vertikal ke bawah terkadang mempunyai kecepatan awal sama dengan nol. Gerak vertikal ke bawah dengan kecepatan awal sama dengan nol disebut **gerak jatuh bebas**. Dengan mensubstitusikan  $\bar{v}_0 = 0$ , pada gerak jatuh bebas berlaku persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \bar{v}_t &= g t \\
 \bar{v}_t^2 &= 2 g h \\
 h &= \frac{\bar{v}_t^2}{2 g}
 \end{aligned}$$

Sementara itu,

$$\begin{aligned}
 y_t &= y_0 - \frac{1}{2} g t^2 \\
 h &= \frac{1}{2} g t^2
 \end{aligned}$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Waktu  $t$  pada persamaan tersebut adalah waktu yang dibutuhkan benda untuk sampai di tanah atau lantai.

Untuk mengetahui penerapan persamaan-persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.



**Galileo Galilei** (1564-1642)

seorang ilmuwan Italia. Kajiannya tentang dalil Archimedes mengantarkan pada kesimpulan bahwa semua benda jatuh dengan kecepatan yang sama. Untuk membuktikan kesimpulannya, Galileo menjatuhkan dua beban dengan berat yang berbeda dari puncak menara Pisa. Pada waktu itu orang percaya bahwa benda yang lebih berat akan sampai di tanah terlebih dahulu. Namun, Galileo membuktikan bahwa kedua benda menghantam tanah pada waktu yang hampir sama.

Lafferty, Peter, 2000

## Contoh

Sebuah mangga jatuh dari tangkainya yang berada pada ketinggian 5 m. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- waktu yang diperlukan untuk mencapai permukaan tanah,
- Kecepatan saat menyentuh permukaan tanah.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:** Gerak vertikal ke bawah/gerak jatuh bebas

$$\vec{v}_0 = 0 \text{ m/s}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

- Ditanyakan:** a.  $t$  untuk sampai tanah  
b.  $\vec{v}$  di tanah

**Jawab:**

- Waktu yang dibutuhkan untuk sampai di tanah dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{\frac{2h}{g}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 5}{10}} \\ &= 1 \text{ s} \end{aligned}$$

Jadi, waktu yang diperlukan untuk sampai di tanah adalah 1 sekon.

- Untuk mencari kecepatan saat sampai di tanah, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \vec{v}_t^2 &= 2gh \\ \vec{v}_t &= \sqrt{2gh} \\ &= \sqrt{2 \times 10 \times 5} \\ &= 10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi kecepatan saat menyentuh tanah adalah 10 m/s.

## 2. Gerak Vertikal ke Atas

Ketika kita melemparkan bola atau benda ke atas, geraknya semakin lama semakin lambat dan akhirnya bergerak ke bawah. Perhatikan gambar 3.8. Seperti pada gerak vertikal ke bawah yang mendapat percepatan sebesar  $g$ , gerak vertikal ke atas juga mendapat percepatan  $g$ . Hanya saja pada gerak vertikal ke atas, arah  $g$  berlawanan dengan arah gerak. Dengan kata lain, gerak vertikal ke atas mengalami perlambatan sebesar  $g$ . Perlambatan ini dapat dilihat dari jarak bayangan dua bola yang semakin ke atas jarak antara dua bayangan semakin pendek.

Pada saat melemparkan bola ke atas berarti kalian memberikan kecepatan awal. Dengan adanya perlambatan sebesar  $g$ , maka pada saat mencapai titik tertinggi, kecepatan benda adalah nol. Pada saat benda jatuh kembali akan berlaku seperti benda yang jatuh bebas.

Analogi dengan gerak vertikal ke bawah, pada gerak vertikal ke atas berlaku persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \vec{v}_t &= \vec{v}_0 - gt \\ \vec{v}_t^2 &= \vec{v}_0^2 - 2gh_t \\ h_t &= \vec{v}_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned}$$

Berbeda dengan gerak vertikal ke bawah,  $h_t$  pada persamaan gerak vertikal ke atas menyatakan ketinggian benda yang dicapai setelah  $t$  sekon.  $h_t$  pada persamaan ini adalah selisih posisi akhir dengan posisi awal benda, atau dituliskan sebagai:



Gambar 3.7 Contoh bola yang bergerak vertikal ke atas.

$$h_t = y_0 - y_t$$

Dengan demikian, posisi benda pada saat  $t$  dapat dicari dengan persamaan:

$$y_t = y_0 + \bar{v}_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

Sementara itu, ketinggian maksimum dicapai jika  $\bar{v}_t = 0$ . Dari persamaan  $\bar{v}_t^2 = \bar{v}_0^2 - 2g h_t$ , ketinggian maksimum yang dicapai benda dapat dicari dengan rumus:

$$h_{\text{maks}} = \frac{\bar{v}_0^2}{2g}$$

Keterangan:  $h_{\text{maks}}$  = tinggi maksimum yang dicapai benda (m)

Untuk menambah wawasan kalian tentang aplikasi konsep GLB dan GLBB, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah bola dilempar ke atas dengan kecepatan tertentu. Setelah 2 sekon, bola kembali ke tempat semula. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- kecepatan awalnya
- ketinggian maksimum

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $t_{\text{naik-turun}} = 2 \text{ s}$   
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

**Ditanyakan:** a.  $\bar{v}_0$   
 b.  $h_{\text{maks}}$

**Jawab:**

Waktu untuk naik, sama dengan waktu untuk turun. Jadi waktu untuk mencapai titik tertinggi adalah  $t = \frac{2}{2} = 1 \text{ s}$ . Kecepatan pada titik tertinggi sama dengan  $0 \text{ m/s}$  ( $\bar{v}_t = 0$ ).

a. Untuk mencari kecepatan awal kita bisa menggunakan persamaan:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_0 - g t$$

$$\bar{v}_0 = g t$$

$$\bar{v}_0 = 10 \times 1$$

$$= 10 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan awalnya adalah  $10 \text{ m/s}$ .

b. Untuk mencari tinggi maksimum yang dicapai kita dapat menggunakan persamaan berikut.

$$h_{\text{maks}} = \bar{v}_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$h_{\text{maks}} = (10 \times 1) - \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2$$

$$h_{\text{maks}} = 5 \text{ m}$$

atau

$$\begin{aligned} h_{\text{maks}} &= \frac{\bar{v}_0^2}{2g} \\ &= \frac{10^2}{2 \times 10} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, tinggi maksimum yang dicapai adalah  $5 \text{ m}$ .

## Tips & Trik

Untuk gerak vertikal, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan.

- Gerak vertikal ke atas selalu mempunyai kecepatan awal.
- Kecepatan di titik tertinggi adalah nol ( $v_t = 0$ ).
- Kecepatan benda saat jatuh di tempat semula sama dengan kecepatan awalnya.
- Waktu yang diperlukan untuk naik ke titik tertinggi sama dengan waktu untuk turun dari titik tertinggi ke posisi semula.

Sebagai ajang untuk melatih kemampuan kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

- Sebuah kapur jatuh dari meja. Waktu yang diperlukan untuk sampai di lantai adalah 0,5 sekon. Percepatan gravitasi ditempat itu adalah  $9,8 \text{ m/s}^2$ .
  - Berapakah kecepatan kapur saat menyentuh lantai?
  - Berapakah ketinggian meja?
- Seseorang menjatuhkan batu dari atas tebing setinggi 40 m. Jika batu dihempaskan dengan kecepatan  $10 \text{ m/s}$  lurus ke bawah, dan  $a = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - waktu yang dibutuhkan batu untuk sampai di dasar tebing,
  - ketinggian batu dari dasar tebing setelah 0,5 sekon,
  - kecepatan batu setelah 1 sekon.
- Sebuah bola dilemparkan ke atas dengan kecepatan  $20 \text{ m/s}$ .
  - Berapakah tinggi maksimum yang dicapai bola?
  - Berapa lamakah bola di udara?
  - Berapakah kecepatan bola pada saat  $t = 2 \text{ s}$ ?
- Seseorang melepaskan anak panah lurus ke atas dengan kecepatan  $20 \text{ m/s}$ . Pada saat yang bersamaan dengan lepasnya anak panah dari busurnya, seekor burung terbang dari puncak menara dengan kecepatan  $10 \text{ m/s}$  ke arah orang tersebut. Jika tinggi menara 20 meter dan jaraknya 20 meter dari orang tersebut, apakah anak panah akan mengenai burung itu?

## Inti Sari

- Kecepatan (*velocity*) adalah kelajuan suatu benda dalam arah tertentu. Kecepatan didefinisikan sebagai perpindahan yang ditempuh benda dalam selang waktu tertentu. Kecepatan benda dapat dirumuskan sebagai:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{\Delta t}$$

- Kecepatan sesaat adalah total perpindahan yang ditempuh suatu benda selang waktu yang sangat pendek dan dirumuskan:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

- Pada gerak lurus beraturan (GLB) berlaku persamaan:

$$v_t = v_0$$

$$s = vt$$

$$s_t = s_0 + vt$$

- Percepatan (*acceleration*) adalah perubahan kelajuan persatuan waktu dalam arah tertentu.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t - t_0}$$

- Pada gerak lurus berubah beraturan (GLBB) berlaku persamaan-persamaan:

$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + at$$

$$\vec{v}_t^2 = \vec{v}_0^2 + 2as$$

$$s = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

$$s_t = s_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

6. Pada gerak vertikal ke bawah berlaku persamaan-persamaan:

$$\vec{v}_t = \vec{v}_0 + gt$$

$$\vec{v}_t^2 = \vec{v}_0^2 + 2gh$$

$$h_t = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$y_t = y_0 - \vec{v}_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

7. Pada gerak vertikal ke atas berlaku persamaan-persamaan:

$$\vec{v}_t = v_0 - gt$$

$$\vec{v}_t^2 = \vec{v}_0^2 - 2gh$$

$$h_t = \vec{v}_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$y_t = y_0 + \vec{v}_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

## Telaah Istilah

**Acceleration** Percepatan yaitu laju perubahan kecepatan pada selang waktu tertentu

**Deceleration** Perlambatan

**Jarak (Distance)** Panjang lintasan yang ditempuh benda

**Perpindahan (Displacement)** Perubahan posisi suatu benda pada arah tertentu

**GLB** Gerak lurus beraturan

**GLBB** Gerak lurus berubah beraturan

**Kecepatan (Velocity)** Perpindahan pada arah tertentu dalam selang waktu tertentu

**Kelajuan (Speed)** Jarak yang ditempuh tiap satu satuan waktu

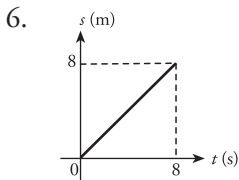
## Ulangan Harian

### A Pilihlah jawaban yang paling tepat

- Benda dikatakan bergerak jika . . . .
  - mengalami perubahan kecepatan
  - mengalami perpindahan
  - mengalami perubahan percepatan dari percepatan semula
  - mengalami perubahan kedudukan dari kedudukan sebelumnya
  - mengalami perubahan jarak dari jarak sebelumnya
- Sebuah sepeda motor menempuh jarak 150 km dalam waktu 3 jam. Kelajuan motor tersebut adalah . . . .
  - 20 km/jam
  - 30 km/jam
  - 40 km/jam
  - 50 km/jam
  - 60 km/jam
- Mobil bergerak ke arah barat. Dalam waktu 1 jam, mobil tersebut menempuh jarak 42 km. 2 jam kemudian, mobil menempuh jarak 100 km. Kelajuan rata-rata mobil tersebut adalah . . . .
  - 21 km/jam
  - 33,3 km/ jam
  - 47,3 km/ jam
  - 71 km /jam
  - 92 km/jam
- Sinar laser digunakan untuk mengukur jarak sebuah benda langit dari bumi. Laser tersebut ditembakkan ke benda langit tersebut dan memantul kembali ke bumi. Jika selang waktu yang dibutuhkan laser hingga sampai ke bumi lagi adalah 4 s dan kelajuan sinar laser  $3 \times 10^8$  m/s, maka jarak benda langit tersebut dari bumi adalah . . . .

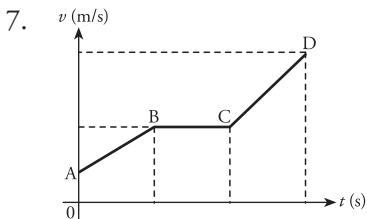
- a.  $1,2 \times 10^9$  m
- b.  $1,2 \times 10^8$  m
- c.  $6 \times 10^9$  m
- d.  $6 \times 10^8$  m
- e.  $1,5 \times 10^8$  m

5. Gerak benda pada lintasan lurus dan mempunyai kecepatan tetap disebut . . . .
- a. gerak lurus berubah beraturan
  - b. gerak lurus berubah tak beraturan
  - c. gerak lurus yang tetap
  - d. gerak lurus beraturan
  - e. gerak lurus berubah tak beraturan



Perpindahan sebuah benda ditunjukkan oleh grafik. Pernyataan yang benar dari grafik tersebut adalah . . . .

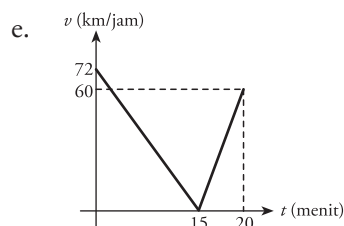
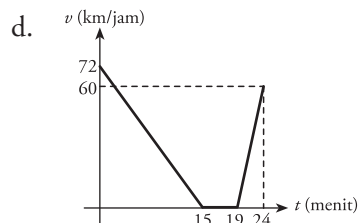
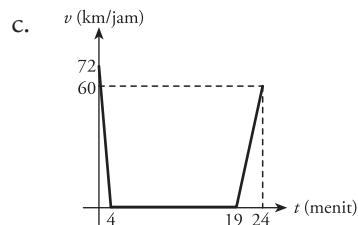
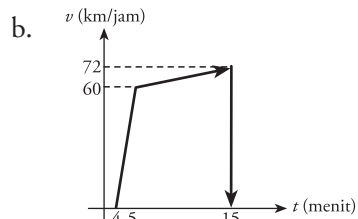
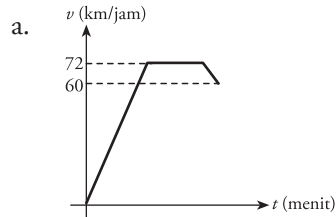
- a. kelajuan benda 1 m/s
- b. benda berpindah sejauh 1 m tiap 2 sekon
- c. benda bergerak dalam waktu 4 sekon
- d. percepatan benda  $1 \text{ m/s}^2$
- e. benda diam



Kelajuan jalan seseorang ditunjukkan pada grafik berikut. Pernyataan yang benar dari grafik tersebut adalah . . . .

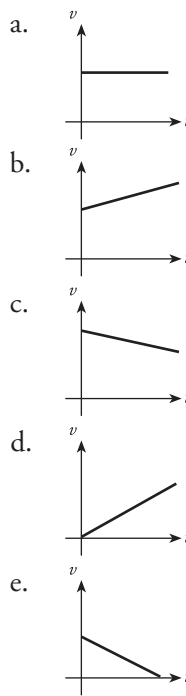
- a. orang bergerak tanpa kelajuan awal
- b. B ke C menunjukkan perlambatan
- c. C ke D menunjukkan kelajuan
- d. C ke D menunjukkan kelajuan konstan
- e. pelari berhenti di titik D

8. Sebuah kereta bergerak dari arah barat dengan kelajuan awal 72 km/jam. Saat mendekati stasiun, kereta direm dengan perlambatan tetap selama 15 menit. Di stasiun kereta berhenti selama 4 menit. Kemudian, kereta berjalan dengan percepatan tetap. Dalam waktu 5 menit kecepatan kereta adalah 60 km/jam. Grafik kelajuan terhadap waktu di bawah ini yang menunjukkan perjalanan kereta tersebut adalah . . . .



9. Dua buah mobil yang berjarak 3 km bergerak saling menyongsong pada saat bersamaan. Mobil pertama bergerak dengan kelajuan 10 m/s dan mobil kedua bergerak dengan kelajuan 15 m/s. Kedua mobil akan bertemu pada jarak . . .
- 1,8 km dari kedudukan awal mobil pertama
  - 1,5 km dari kedudukan awal mobil pertama
  - 1,2 km dari kedudukan awal mobil kedua
  - 1,2 km dari kedudukan awal mobil pertama
  - 1 km dari kedudukan awal mobil kedua
10. Seseorang berlari dengan kelajuan 18 km/jam. Setelah 30 sekon, pelari tersebut berhenti. Perlambatan yang dialami pelari tersebut adalah . . .
- $0,2 \text{ m/s}^2$
  - $0,4 \text{ m/s}^2$
  - $0,5 \text{ m/s}^2$
  - $0,6 \text{ m/s}^2$
  - $0,7 \text{ m/s}^2$
11. Seorang siswa berlari mengejar bola yang berada 8,75 meter di hadapannya. Bola itu menggelinding dengan perlambatan  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Jika kelajuan bola saat dikejar 8 m/s, kelajuan siswa agar dapat menyusul bola dalam waktu 3 sekon adalah . . .
- 7 m/s
  - 8 m/s
  - 9 m/s
  - 10 m/s
  - 12 m/s
12. Suatu benda yang berada pada ketinggian 10 m terjatuh. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , waktu yang diperlukan benda untuk sampai ke tanah adalah . . .
- 1,5 s
  - 1,4 s
  - 1,3 s
  - 1,2 s
  - 1,1 s

13. Grafik yang menunjukkan gerak benda yang dilempar ke atas sampai titik tertinggi yaitu . . .



14. Sebuah kelereng dilemparkan ke atas. Pada ketinggian 4 m dari tanah, kecepatannya 1 m/s. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , kecepatan awal kelereng adalah . . .
- 2,5 m/s
  - 4 m/s
  - 9 m/s
  - 15 m/s
  - 40 m/s
15. Sebuah bola besi dijatuhkan dari ketinggian 10 m dari atas permukaan air kolam yang mempunyai kedalaman 4 m. Bola besi mencapai dasar kolam setelah  $(1 + \sqrt{2})$  sekon. Jika dianggap bola mengalami perlambatan selama di air, besar perlambatannya adalah . . .  $\text{m/s}^2$ .
- $20\sqrt{2}$
  - $20\sqrt{2} - 8$
  - $10\sqrt{2}$
  - $10\sqrt{2} - 4$
  - $5\sqrt{2} - 2$



**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

1. Udin berlari mengelilingi lapangan yang berbentuk bujur sangkar. Lapangan itu memiliki keliling 80 m. Setelah 2 kali putaran, dia kembali ke titik awal sebelum dia berlari. Berapa besar perpindahan yang dilakukan Udin? Berapa pula jarak yang ditempuhnya?
2. Jelaskan perbedaan antara:
  - a. jarak dan perpindahan
  - b. kelajuan dan kecepatan
3. Tentukan kelajuan rata-rata dan kecepatan sesaat pada saat  $t = 1$  s dari sebuah mobil berdasarkan data posisi berikut.

$t$ (s)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$x$ (m)	0	1	2	3	5	8	12	17	23	30
4. Bekicot berjalan pada ranting pohon. Untuk menempuh jarak 2,8 cm, bekicot membutuhkan waktu 2 sekon. Berapakah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 1 meter? Berapakah kecepatan bekicot itu?
5. Seekor burung terbang ke arah utara menempuh jarak 60 m dalam waktu 5 sekon. Kemudian, burung berbelok ke arah timur dan menempuh jarak 80 m dalam waktu 4 sekon. Tentukan kelajuan rata-rata burung tersebut.
6. Berdasarkan jadwal kedatangan di stasiun A, kereta api seharusnya datang pukul 07.00 WIB. Pada pukul 06.30 WIB, kereta api masih berada di stasiun B yang berjarak 60 km dari stasiun A. Berapakah kelajuan

rata-rata agar kereta tepat waktu sampai di stasiun A?

7. Pada lintasan lurus sepanjang 1,5 km, Gibernou melaju dengan kelajuan 144 km/jam. 50m di belakangnya, Valentino Rossi melaju dengan kelajuan 180 km/jam. Apakah Rossi mampu menyusul Gibernou pada lintasan lurus tersebut?
8. Seorang supir sedang melajukan kendaraannya dengan kelajuan 55 km/jam. Ia melihat rambu-rambu bertuliskan 40 km/jam pada jarak 20 meter di depannya. Dengan perlambatan berapakah supir tersebut harus mengerem mobilnya agar tidak melampaui batas kelajuan maksimum pada rambu-rambu tersebut?
9. Seseorang menembakkan peluru dengan kecepatan 20 m/s vertikal ke atas dari bibir tebing yang mempunyai ketinggian 20 m. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - a. waktu yang dibutuhkan hingga peluru jatuh di dasar tebing,
  - b. ketinggian maksimum peluru dihitung dari dasar tebing,
  - c. kecepatan peluru ketika sampai di dasar tebing.
10. Seorang anak berada di dalam mobil yang bergerak dengan kelajuan konstan. Anak tersebut melemparkan bola vertikal ke atas. Dimanakah bola tersebut akan jatuh (di depan anak, di belakang anak, atau kembali ke tangannya)? Jika mobil direm mendadak pada saat bola di udara, di manakah bola tersebut akan jatuh?

## B a b IV

# Gerak Melingkar



*dok. PIM*

**B**ersepeda adalah olahraga murah yang menyehatkan. Tidak butuh bahan bakar, sehingga tidak menimbulkan polusi. Ketika sedang berjalan, roda sepeda akan berputar. Perputaran roda ini disebabkan oleh ayunan kaki saat menggenjot pedal sepeda. Akibat genjotan ini, gir depan dan gir belakang sepeda yang terhubung dengan rantai akan berputar. Perputaran gir belakang menyebabkan ban belakang ikut berputar, sehingga sepeda dapat berjalan. Konsep fisika yang mendasari gerak sepeda adalah gerak melingkar. Bagaimanakah cara menyatakan gerak melingkar dalam bentuk persamaan? Temukan jawabannya pada uraian materi di bab ini.

## Kata Kunci

- Gerak melingkar
- GMB (Gerak Melingkar Beraturan)
- GMBB (Gerak Melingkar Berubah Beraturan)
- Hubungan roda-roda

Pada bab sebelumnya, kita sudah mempelajari gerak lurus. Di bab ini, kita akan mempelajari gerak dengan lintasan berupa lingkaran atau disebut gerak melingkar. Dengan menyimak penjelasan yang diberikan, kalian diharapkan mampu mengidentifikasi beberapa besaran yang mendasari gerak melingkar, seperti frekuensi, periode, sudut tempuh, kecepatan linear, kecepatan sudut, dan percepatan sentripetal. Dengan melakukan diskusi dan percobaan sederhana, kalian akan mampu menjelaskan penerapan konsep gerak melingkar pada hubungan roda-roda sekaligus menganalisisnya secara kualitatif.

### A Gerak Melingkar Beraturan

Benda yang melakukan gerak melingkar banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya roda yang berputar, komedi putar, gerak planet mengelilingi matahari, dan masih banyak contoh lainnya. Dalam mempelajari gerak melingkar, kita tidak terlepas dari besaran-besaran yang mendasarinya. Namun, sebelum kita membahas gerak melingkar lebih jauh, lakukan diskusi pada *Eureka* di bawah ini.

#### Eureka

Diskusikan bersama teman sebangku kalian, jawaban dari pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Sebutkan sedikitnya 10 contoh gerak melingkar yang sering kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari.
2. Seorang anak menggelindingkan roda sepeda sehingga berpindah sejauh 6 meter dalam 3 sekon dan berputar sebanyak 6 putaran. Berapakah jumlah putaran yang dilakukan tiap sekonnya? Berapakah kecepatan gerak dan kecepatan putar roda tersebut?
3. Bumi mempunyai periode revolusi selama 1 tahun atau 365 hari. Jika jejari orbit bumi 150 juta kilometer, berapakah jarak yang ditempuh bumi dalam 1 tahun? Berapakah kecepatan geraknya (dalam km/hari)?

Tuliskan hasil diskusi kalian kemudian kumpulkan kepada guru.

Pada Bab III tentang Gerak Lurus, kalian telah mengenal gerak lurus beraturan (GLB). Dari materi yang telah kalian pelajari tersebut, benda melakukan GLB jika kecepatan geraknya konstan dan menempuh lintasan lurus. Kecepatan dalam GLB, baik arah maupun besarnya tidak berubah (konstan). Bagaimanakah dengan gerak melingkar beraturan?

Dari hasil diskusi kalian pada *Eureka* di atas, kalian telah menemukan besaran-besaran dalam gerak melingkar. Besaran fisika itu antara lain, kecepatan, percepatan, waktu untuk melakukan satu kali putaran, dan jumlah putaran dalam selang waktu tertentu.

## 1. Periode dan Frekuensi

Perhatikan kembali hasil diskusi yang kalian lakukan. Dalam kasus roda yang menggelinding, roda melakukan 6 putaran dalam 3 sekon. Ini berarti roda melakukan satu putaran tiap  $\frac{1}{2}$  sekon. Dalam fisika, waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali putaran disebut **periode**. Periode disimbolkan dengan huruf  $T$ . Jika sebuah benda melakukan  $N$  kali putaran dalam selang waktu  $t$  sekon, maka kita dapat menghitung periode dengan persamaan:

$$T = \frac{\text{waktu}}{\text{jumlah putaran}}$$

$$T = \frac{t}{N}$$

**Keterangan:**  $T$  = periode (s)  
 $t$  = waktu (s)  
 $N$  = jumlah putaran

Karena roda melakukan 6 putaran tiap 3 sekon berarti setiap 1 sekon roda melakukan 2 putaran. Jumlah putaran yang dilakukan dalam satu sekon itu disebut **frekuensi**. Secara umum, frekuensi diartikan sebagai jumlah putaran yang dilakukan dalam selang waktu tertentu. Satuan frekuensi adalah  $s^{-1}$  atau hertz disingkat Hz.

Frekuensi sebuah benda yang melakukan  $N$  kali putaran dalam selang waktu  $t$  dapat dicari dengan rumus:

$$f = \frac{\text{jumlah putaran}}{\text{waktu}}$$

$$f = \frac{N}{t}$$

**Keterangan:**  $f$  = frekuensi (Hz)

Dari persamaan periode dan frekuensi tersebut, kita dapat melihat hubungan frekuensi dan periode sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f}$$

## 2. Kecepatan Linear dan Kecepatan Sudut

Dalam gerak melingkar, kalian juga menjumpai besaran kecepatan. Kecepatan pada gerak melingkar sedikit berbeda dengan gerak lurus. Namun, pada prinsipnya kecepatan pada gerak melingkar identik dengan kecepatan pada gerak lurus beraturan.

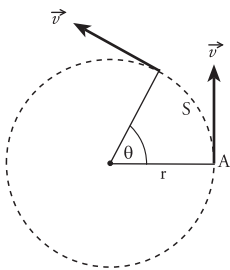
Perhatikan kasus roda yang menggelinding sejauh 6 meter dalam waktu 3 sekon pada *Eureka* di depan. Berdasarkan definisi kecepatan sebagai perpindahan tiap satu satuan waktu, maka kecepatan pindah roda tersebut adalah 2 meter per sekon.

Sekarang, perhatikan gambar 4.1. Gambar tersebut adalah gambar diagram lintasan pada benda yang melakukan gerak melingkar. Pada kasus roda, kita ambil pentil sebagai contoh benda yang melakukan gerak

### **T**eropong

Pengertian kecepatan linear hampir sama dengan pengertian kecepatan yang telah dipelajari pada materi Gerak Lurus beraturan di bab III. Kecepatan dirumuskan:

$$\vec{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{selang waktu}}$$



**Gambar 4.1** Diagram lintasan benda yang melakukan gerak melingkar

melingkar. Pada saat  $t_0 = 0$ , katakanlah benda berada pada posisi A. Setelah bergerak selama  $t$  sekon, benda menempuh jarak sepanjang busur  $s$ . Nah, panjang busur  $s$  yang ditempuh dalam selang waktu tertentu disebut dengan **kecepatan linear**. Arah kecepatan linear selalu menyinggung lingkaran, seperti tampak pada gambar.

Jadi, kecepatan linear dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \frac{\text{panjang busur } (s)}{\text{waktu } (t)}$$

Kecepatan linear dalam gerak melingkar menyatakan kecepatan benda untuk berputar satu putaran penuh. Padahal, untuk berputar satu kali putaran penuh, panjang busur ( $s$ ) yang ditempuh sama dengan keliling lingkaran. Jadi, besar kecepatan linear untuk berputar satu kali putaran penuh dapat dicari dengan persamaan:

$$v = \frac{\text{keliling lingkaran}}{\text{waktu}}$$

Sementara itu, waktu yang diperlukan untuk menempuh satu kali putaran adalah periode ( $T$ ), sehingga besar kecepatan linear dapat dicari dengan rumus:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

**Keterangan:**  $v$  = kecepatan linear (m/s)  
 $r$  = jari-jari lingkaran (m)  
 $T$  = periode (s)

Lalu, bagaimanakah pengertian kecepatan sudut? Berdasarkan gambar 4.1, setelah bergerak selama  $t$  sekon, benda menempuh sudut  $\theta$ . Perubahan sudut ( $\theta$ ) yang ditempuh pada selang waktu  $t$  sekon disebut **kecepatan sudut** ( $\omega$ ).

$$\text{kecepatan sudut } (\omega) = \frac{\text{sudut yang ditempuh } (\theta)}{\text{waktu } (t)}$$

Seperti kecepatan linear, kecepatan sudut juga menyatakan kecepatan untuk menempuh sudut satu putaran penuh. Satuan yang dipakai untuk menyatakan besar sudut adalah *radian* disingkat **rad**. Untuk satu kali putaran, sudut yang ditempuh adalah  $360^\circ$  atau  $2\pi$  rad. Jadi, kecepatan sudut ( $\omega$ ) dapat dirumuskan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

atau

$$\omega = 2\pi f$$

**Keterangan:**  $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$T$  = periode (s)

$f$  = frekuensi (Hz)

$\pi$  = konstanta = 3,14

Dari persamaan kecepatan linear dan kecepatan sudut, kita dapat mencari hubungan antara keduanya. Hubungan besar kecepatan linear dan besar kecepatan sudut adalah sebagai berikut.

## T eropong

Sudut satu putaran adalah  $2\pi$  radian atau  $360^\circ$ .

Sehingga, didapatkan persamaan berikut.

$$2\pi \text{ radian} = 360^\circ$$

$$1 \text{ radian} = 360^\circ / 2\pi$$

$$= 360^\circ / (2 \cdot 3,14)$$

$$= 57^\circ 17' 45''$$

Perlu diingat juga,

$$2\pi \text{ radian} = 360^\circ$$

$$\pi \text{ radian} = 180^\circ$$

$$\frac{1}{2}\pi \text{ radian} = 90^\circ$$

$$v = \omega r$$

Untuk menambah pemahaman kalian tentang periode, frekuensi, kecepatan linear, dan kecepatan sudut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah batu diikatkan pada seutas tali dan di putar dengan kecepatan tetap. Panjang tali 1 m dan batu melakukan 5 putaran dalam waktu 1 sekon. Berapakah periode, frekuensi, kecepatan linear, dan kecepatan sudut batu?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$r = 1 \text{ m}$$

$$N = 5$$

$$t = 1 \text{ s}$$

**Ditanyakan:**

- |        |             |
|--------|-------------|
| a. $T$ | c. $V$      |
| b. $F$ | d. $\omega$ |

**Jawab:**

- a. Untuk mencari periode, kita dapat menggunakan persamaan:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{5} \text{ s}$$

Jadi, periodenya adalah 0,2 s.

- b. Untuk mencari frekuensi, digunakan persamaan:

$$f = \frac{1}{T} = 5 \text{ Hz}$$

Jadi, frekuensinya adalah 5 Hz.

- c. Untuk mencari kecepatan linear, gunakan persamaan:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 1}{1/5} = 10\pi \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan linearnya adalah  $10\pi$  m/s.

- d. Kecepatan sudut dapat dicari dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1/5} = 10\pi \text{ rad/s}$$

Jadi, kecepatan sudutnya adalah  $10\pi$  rad/s.

### 3. Gerak Melingkar Beraturan

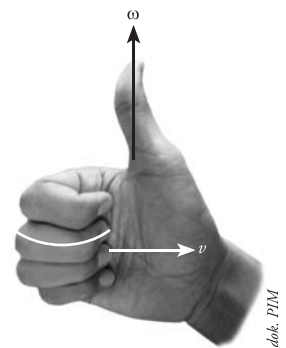
Dengan melihat Gambar 4.1, kita dapat memastikan bahwa kecepatan linear selalu mengalami perubahan arah, walaupun besarnya konstan. Namun, untuk kecepatan angular atau kecepatan sudut, arah dan besarnya selalu konstan setiap saat. Arah kecepatan angular dapat ditentukan berdasarkan arah kecepatan linearnya dengan aturan genggaman tangan kanan, seperti tampak pada gambar 4.2.

Dari gambar tersebut, arah kecepatan linear ditentukan dengan arah keempat jari. Sementara arah kecepatan angular ditentukan oleh arah ibu jari. Arah kecepatan angular pada gerak melingkar beraturan selalu tetap.

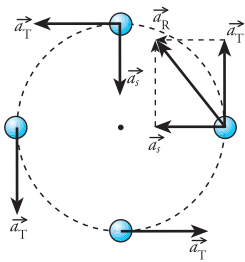
Benda dikatakan melakukan **gerak melingkar beraturan jika besar kecepatan linearnya tetap, dan kecepatan angularnya (besar dan arah) juga tetap**. Jadi, pada gerak melingkar beraturan (GMB) berlaku:

$$v = \text{konstan, dan}$$

$$\omega = \text{konstan.}$$



**Gambar 4.2** Arah kecepatan linear dan kecepatan angular menurut aturan genggaman tangan kanan.



**Gambar 4.3** Perubahan arah kecepatan linear menyebabkan percepatan sentripetal dan percepatan tangensial

## 4. Percepatan Sentripetal

Besar kecepatan linear pada gerak melingkar beraturan adalah nol. Namun, arah kecepatan linear berubah setiap waktu. Perubahan arah ini menyebabkan adanya selisih kecepatan linear. Selisih kecepatan dalam selang waktu tertentu selalu menuju pusat lingkaran. Selisih atau perubahan arah kecepatan linear pada selang waktu tertentu menyebabkan adanya percepatan yang arahnya selalu menuju pusat lingkaran. Percepatan seperti ini disebut **percepatan sentripetal** ( $a_s$ ) yang besarnya:

$$a_s = \frac{v^2}{r}$$

Dengan  $v = \omega r$ , maka:

$$a_s = \frac{(\omega r)^2}{r} \quad a_s = \omega^2 r$$

karena  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , maka:

$$a_s = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$a_s = 4\pi^2 f^2 r$$

**Keterangan:**  $a_s$  = besar percepatan sentripetal ( $\text{m/s}^2$ ).

$r$  = jejari lingkaran (m).

$v$  = besar kecepatan linear (m/s).

$T$  = periode (s).

$f$  = frekuensi (Hz).

$\omega$  = kecepatan angular atau kecepatan sudut (rad/s).

Selain percepatan sentripetal, juga terdapat percepatan lain yang selalu menyinggung lingkaran. Percepatan ini disebut percepatan tangensial ( $a_T$ ). Besarnya percepatan tangensial dapat dicari dengan persamaan:

$$a_T = a_s R$$

Sementara itu, percepatan pada suatu titik merupakan resultan dari dua percepatan tersebut, atau dirumuskan:

$$a_R = \sqrt{a_s^2 + a_T^2}$$

Untuk mengetahui penerapan persamaan-persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah bola besi diikatkan pada sebuah tali sepanjang 1 m dan diputar secara horizontal. Jika dalam 2 sekon bola menempuh 8 putaran, tentukan besar percepatan sentripetal bola besi tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$r = 1 \text{ m}$

$t = 2 \text{ s}$

$N = 8 \text{ putaran}$

**Ditanyakan:**  $a_s$

**Jawab:**

untuk mencari percepatan sentripetal, kita cari terlebih dahulu periode putaran dengan persamaan:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{2}{8} = 0,25 \text{ s}$$

Percepatan sentripetal ( $a_s$ ) dicari dengan rumus:

$$a_s = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4 \times (3,14)^2 \times 1}{(0,25)^2} = 631,01 \text{ m/s}^2$$

Jadi, percepatan sentripetalnya adalah 631,01  $\text{m/s}^2$ .



Nah, untuk mengetahui kemampuan kalian dalam menyelesaikan persoalan-persoalan yang berkaitan dengan gerak melingkar beraturan, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Sebuah kipas angin yang mempunyai jejari 20 cm berputar 120 putaran tiap menit.
  - a. Berapakah periode putarannya?
  - b. Berapakah frekuensi putarannya?
  - c. Hitunglah kecepatan sudutnya.
  - d. Hitunglah kecepatan linearnya.
2. Sebuah motor bergerak dengan kecepatan 60 m/s. Jika jejari roda sepeda motor 30 cm
  - a. Berapakah jarak yang ditempuh roda selama 10 sekon?
  - b. Berapa kali roda motor berputar dalam 10 sekon?
3. Bulan mengitari bumi dengan periode 27,3 hari. Diketahui percepatan sentripetal yang dialami bulan  $2,72 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ . Tentukan jarak bulan dari bumi.
4. Sebuah mobil di tes pada lintasan berbentuk lingkaran dengan jejari 30 m. Kelajuan maksimum agar mobil tidak keluar lintasan adalah 44 km/jam. Berapakah percepatan sentripetal maksimum mobil tersebut?
5. Sebuah benda diikat dengan tali sepanjang 49 cm. Kemudian, benda diputar dengan kecepatan sudut 7 rad/s. Tentukan:
  - a. Periode dan frekuensi
  - b. Kecepatan linear
  - c. Percepatan sentripetal

## B Gerak Melingkar Beraturan pada Hubungan Roda-roda

Pernahkah kalian memperhatikan gerak sepeda? Sepeda akan bergerak maju jika kita menggenjot pedal ke depan. Genjotan pada pedal sepeda tersebut memutar gir depan. Gir depan dihubungkan dengan gir belakang menggunakan rantai menyebabkan sepeda dapat bergerak. Perhatikan gambar 4.4.

Gir depan dan gir belakang sepeda dihubungkan menggunakan rantai. Sementara itu, gir belakang dan roda belakang mempunyai satu pusat atau berada pada satu as. Bagaimanakah persamaan matematis dari hubungan dua roda tersebut?



Gambar 4.4 Gir depan sepeda dihubungkan menggunakan rantai dengan gir belakang.

### 1. Roda-roda Sepusat

Perhatikanlah gir belakang dan roda belakang pada sepeda. Gir dan roda sepeda ini mempunyai pusat yang sama. Gir belakang dan roda sepeda merupakan salah satu contoh roda-roda yang sepusat. Perhatikan gambar 4.5.

Pada saat sepeda bergerak maju, roda belakang berputar searah jarum jam. Demikian pula dengan gir belakang. Setelah selang waktu tertentu,





**Gambar 4.5** Gir dan roda belakang sepeda merupakan contoh hubungan roda-roda yang sepusat.

gir belakang dan roda sepeda menempuh sudut yang sama. Ini berarti **kecepatan sudut gir belakang dan roda belakang sepeda adalah sama**. Jadi, pada roda-roda yang sepusat berlaku persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned}\omega_A &= \omega_B \\ \frac{v_A}{r_A} &= \frac{v_B}{r_B} \\ \frac{v_A}{v_B} &= \frac{r_A}{r_B}\end{aligned}$$

**Keterangan:**  $v$  = kecepatan linear roda A (m/s)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$r$  = jejari roda (m)

## 2. Roda-roda Yang Dihubungkan dengan Tali atau Rantai

Coba perhatikan gir depan dan gir belakang pada sepeda yang dihubungkan dengan rantai. Pada saat sepeda bergerak maju, gir depan dan gir belakang akan berputar searah jarum jam. Perhatikan gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Gir depan dan gir belakang sepeda dihubungkan dengan rantai.

Dari pengertian kecepatan linear, kalian tahu bahwa arah kecepatan linear selalu menyinggung lingkaran. Rantai atau tali yang digunakan untuk menghubungkan gir depan dan gir belakang dipasang pada sebelah luar setiap gir. Pada saat bergerak, kecepatan rantai atau tali menyinggung bagian luar gir. Kecepatan gerak rantai ini merupakan kecepatan linear gir. Sehingga dapat disimpulkan, **arah dan besar kecepatan linear pada dua roda yang dihubungkan dengan tali atau rantai adalah sama**.

Jadi, pada roda-roda yang dihubungkan dengan rantai berlaku persamaan:

$$v_A = v_B$$

$$\omega_A r_A = \omega_B r_B$$

## 3. Roda-roda Yang Bersinggungan.

Roda-roda yang bersinggungan dapat kalian jumpai pada mesin jam. Mesin jam menggunakan roda-roda bergigi yang bersinggungan satu sama lain. Perhatikan gambar 4.7.

Dari gambar tersebut, jika roda pertama berputar searah jarum jam, maka roda kedua berputar berlawanan arah jarum jam. Namun, pada titik persinggungan, besar kecepatan linear kedua roda besarnya sama. Sementara kecepatan sudutnya akan berbeda, tergantung pada jejari masing-masing roda atau jumlah gir yang dimilikinya.

Jadi, pada dua roda yang bersinggungan, berlaku persamaan sebagai berikut.

$$v_A = v_B$$

$$\omega_A r_A = \omega_B r_B$$

Jika kedua roda mempunyai jumlah gigi  $n_A$  dan  $n_B$ , maka berlaku persamaan:

**M**ozaik

**James Watt (1736-1819)** adalah insinyur besar dari Britania. Ia adalah penemu mesin uap pertama yang efisien. Mesin ini menggunakan sejenis gir pendorong yang disebut gir matahari dan planet. Gir planet pada mesin ini mengelilingi gir matahari yang lebih besar. Sistem gir ini mengubah gerakan naik turun piston menjadi gerakan yang memutar sumbu roda.

Lafferty, Peter, 2000.

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{n_B}{n_A}$$

**Keterangan:**  $n_A$  = jumlah gigi roda A  
 $n_B$  = jumlah gigi roda B

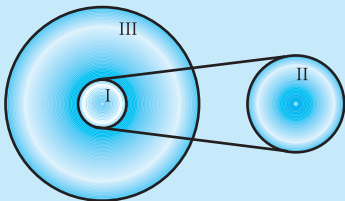
Persamaan ini memberikan arti bahwa kecepatan sudut yang dimiliki roda-roda yang bersinggungan berbanding terbalik dengan jumlah gigi yang dimilikinya. Pernyataan ini dapat kita lihat kebenarannya saat melihat dua roda dengan jumlah gigi berbeda. Roda dengan jumlah gigi yang lebih banyak akan berputar lebih lambat daripada roda dengan jumlah gigi sedikit.

Bagaimanakah kita menggunakan persamaan-persamaan tersebut untuk menyelesaikan soal? Mari kita perhatikan contoh di bawah ini.



**Gambar 4.7** Roda-roda bergigi bersinggungan satu sama lain.

## Contoh



Tiga buah roda dengan jari 2 cm, 4 cm, dan 8 cm tersusun seperti gambar. Jika kecepatan linear roda 1 adalah 6 m/s, tentukan :

- Kecepatan sudut roda 1,
- Kecepatan linear dan kecepatan sudut roda 2,
- Kecepatan linear dan kecepatan sudut roda 3.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $r_1 = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$   
 $r_2 = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$   
 $r_3 = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$   
 $v_1 = 6 \text{ m/s}$

**Ditanyakan:** a.  $\omega_1$   
b.  $v_2$  dan  $\omega_2$   
c.  $v_3$  dan  $\omega_3$

**Jawab:**

- Kecepatan sudut roda 1 dapat kita cari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \frac{v_1}{r_1} \\ &= \frac{6}{0,02} \\ &= 300 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Jadi, kecepatan sudut roda 1 adalah 300 rad/s

- Roda 1 dan roda 2 adalah roda-roda yang dihubungkan dengan tali. Sehingga, antara roda 1 dan roda 2 berlaku persamaan:

$$v_1 = v_2$$

$$v_2 = 6 \text{ m/s}$$

Kecepatan sudut roda 2,

$$\begin{aligned}\omega_2 &= \frac{v_2}{r_2} \\ &= \frac{6}{0,04} \\ &= 150 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Jadi, kecepatan linear roda 2 adalah 6 m/s, dan kecepatan sudutnya 150 rad/s.

- Roda 1 dan roda 3 adalah roda-roda sepusat, sehingga berlaku persamaan berikut.

$$\omega_3 = \omega_1$$

$$\omega_3 = 300 \text{ rad/s}$$

Kecepatan linear dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}v_3 &= \omega_3 r_3 \\ &= 300 \times 0,08 \\ &= 24 \text{ m/s}\end{aligned}$$

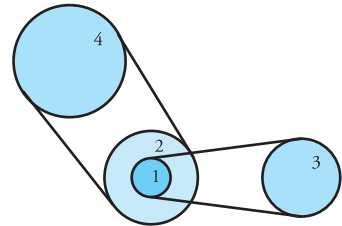
Jadi, kecepatan sudut roda 3 adalah 300 rad/s dan kecepatan linearnya 24 m/s.

Dengan mempelajari uraian materi di depan dan melakukan *Ekspedisi*, kalian diharapkan telah memahami materi subbab ini. Untuk mengetahui tingkat kemampuan kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

- Perhatikan gambar hubungan roda-roda di samping. Jika roda pertama berputar searah jarum jam,

- Bagaimanakah arah putaran roda ke-4?
- Roda manakah yang berputar paling cepat?

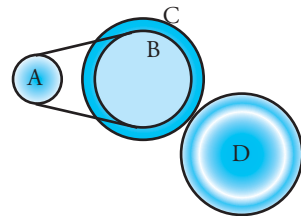


- Dua buah roda bergigi bersinggungan satu sama lain. Roda pertama mempunyai 8 gigi, dan roda ke-dua mempunyai 24 gigi. Waktu yang dibutuhkan roda I untuk berputar satu kali putaran adalah 0,5 sekon.

- Berapakah perbandingan jejari roda I dan jejari roda II?
- Hitunglah waktu yang diperlukan roda II untuk berputar satu kali putaran.
- Tentukan perbandingan kecepatan sudut roda I dan roda II.

- Empat buah roda disusun seperti gambar di samping. Jejari roda A, B, C, dan D berturut-turut adalah 1 cm, 4 cm, 5 cm, dan 4 cm. Jika roda A diputar dengan kecepatan 4 putaran/s searah jarum jam, tentukan:

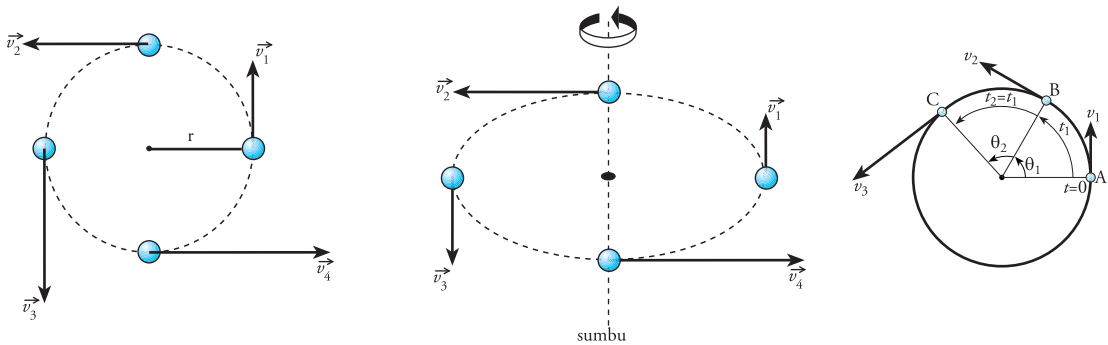
- Kecepatan linear dan kecepatan sudut roda B, C, dan roda D.
- Bagaimanakah arah putaran ketiga roda tersebut?



## C Gerak Melingkar Berubah Beraturan (Pengayaan)

Pada bab IV tentang gerak lurus, kalian mengenal gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Dalam gerak melingkar, kita juga mengenal gerak melingkar beraturan dan gerak melingkar berubah beraturan. Gerak melingkar berubah beraturan akan kita bahas sebagai bahan pengayaan. Subbab ini hanya akan mengenalkan analog persamaan-persamaan antara gerak lurus beraturan dan gerak melingkar beraturan.

Benda dikatakan bergerak lurus berubah beraturan jika mempunyai percepatan konstan. Demikian pula benda yang bergerak melingkar berubah beraturan juga mempunyai percepatan sudut konstan. Sekarang perhatikan Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Skema gerak benda yang bergerak melingkar berubah beraturan.

Benda mula-mula berada di titik A. Setelah bergerak selama  $t_1$  sekon, benda berada di titik B dan menempuh sudut  $\theta_1$ . Setelah bergerak selama  $t_2$  sekon, benda berada di titik C dan menempuh sudut  $\theta_2$ . Karena benda mengalami percepatan, maka dalam selang waktu yang sama antara  $(t_1 - t_0)$  dan  $(t_2 - t_1)$ , besar sudut yang ditempuh berbeda. Dengan kata lain, kecepatan sudut yang dialami benda berubah setiap saat.

Perubahan kecepatan sudut dalam selang waktu tertentu disebut **percepatan sudut** ( $\alpha$ ) yang besarnya:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Jika besar percepatan sudut konstan, maka benda dikatakan bergerak melingkar berubah beraturan. Sementara itu, perpindahan dalam gerak melingkar dinyatakan dengan besar sudut  $\theta$ . Besar sudut yang ditempuh oleh benda yang melakukan gerak melingkar dalam selang waktu tertentu disebut **perpindahan sudut**. Hubungan antara perpindahan sudut ( $\theta$ ), kecepatan sudut ( $\omega$ ), dan waktu dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

Pada prinsipnya, persamaan pada GMBB dan GLBB adalah sama. Yang membedakan hanyalah besaran yang digunakan pada GMBB dan pada GLBB. Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan analog persamaan GMBB dan GLBB.

**Tabel 4.1** Analog persamaan gerak melingkar berubah beraturan dengan gerak lurus berubah beraturan.

Besaran	Gerak lurus	Besaran	Gerak melingkar	Keterangan
Kecepatan rerata	$v_{\text{rerata}} = \frac{(v_0 + v_t)}{2}$	Kecepatan sudut rerata	$\omega_{\text{rerata}} = \frac{(\omega_0 + \omega_t)}{2}$	

Percepatan	$a = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$	Percepatan sudut	$\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t - t_0}$	$a = \alpha r$
Perpindahan	$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	Perpindahan sudut	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$	$s = \theta r$
Kecepatan pada saat $t$ sekon	$v_t = v_0 + a t$ $v_t^2 = v_0^2 + 2 a s$	Kecepatan sudut pada saat $t$ sekon	$\omega_t = \omega_0 + \alpha t$ $\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha \theta$	$v = \omega r$

Nah, untuk membantu kalian memahami gerak melingkar berubah beraturan, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Sebuah *roller coaster* bergerak melewati rel berbentuk lingkaran. Di titik teratas kecepatannya 10 rad/s, dan di titik paling bawah kecepatannya 40 rad/s. Waktu yang dibutuhkan untuk berpindah dari titik atas ke titik bawah 2 sekon. Tentukan:

- percepatan sudut,
- kecepatan sudut pada saat  $t = 1$  sekon,
- perpindahan sudut pada saat  $t = 1$  sekon.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\omega_0 = 10$  rad/s  
 $\omega_t = 40$  rad/s  
 $t = 2$  s

**Ditanyakan:** a.  $\alpha$   
b.  $\omega$  untuk  $t = 1$  s  
c.  $\theta$  untuk  $t = 1$  s

**Jawab:**

- Percepatan sudut dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\omega_t - \omega_0}{t} \\ &= \frac{(40 - 10)}{2} \\ &= 15 \text{ rad/s}^2\end{aligned}$$

Jadi, percepatan sudut *roller coaster* tersebut adalah 15 rad/s<sup>2</sup>.

- Kecepatan sudut pada saat  $t = 1$  s, dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\omega_t &= \omega_0 + \alpha t \\ &= 10 + (15 \times 1) \\ &= 25 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Jadi, kecepatan sudut pada saat  $t = 1$  sekon adalah 25 rad/s.

- Perpindahan sudut pada saat  $t = 1$  s, dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\theta &= \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \\ &= (10 \times 1) + \frac{1}{2} \times 15 \times 1^2 \\ &= 17,5^\circ\end{aligned}$$

Jadi, perpindahan sudut pada saat  $t = 1$  sekon adalah 17,5°.

Untuk melengkapi uraian tersebut, berikut diberikan *Uji Kompetensi* untuk menguji kemampuan kalian.

## Uji Kompetensi

- Sebuah mobil melaju dengan kecepatan 72 km/jam. Setelah 10 sekon, kecepatan mobil menjadi 36 km/jam. Jejari roda mobil adalah 20 cm. Tentukan:
  - Perlambatan mobil
  - Kecepatan sudut roda awal dan kecepatan sudut roda akhir
  - Perlambatan sudut roda
  - Jumlah putaran yang dilakukan roda selama 10 sekon
- Di sebuah tikungan berjejari 10 m, sebuah mobil mengalami perubahan kecepatan dari 25 m/s menjadi 9 m/s dalam waktu 4 sekon. Tentukan:
  - Perlambatan mobil
  - Waktu yang diperlukan untuk menempuh sudut  $10^\circ$
- Dua buah roda dengan jejari 20 cm dan 25 cm dihubungkan dengan rantai. Mula-mula, roda berputar dengan kecepatan linear 20 m/s. Kemudian, roda dengan jejari 20 cm dipercepat dengan percepatan sudut  $3 \text{ rad/s}^2$  selama 10 sekon.
  - Tentukan kecepatan sudut kedua roda mula-mula
  - Tentukan kecepatan sudut kedua roda setelah dipercepat
  - Kecepatan sebuah titik di rantai setelah roda dipercepat

## Inti Sari

- Hubungan periode ( $T$ ) dengan frekuensi ( $f$ ) diberikan dalam bentuk persamaan:

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f}$$

- Kecepatan linear dari benda yang bergerak melingkar dengan jejari  $r$  dapat dicari dengan rumus:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

- Kecepatan sudut dari benda yang bergerak melingkar dirumuskan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \omega = 2\pi f$$

- Percepatan sentripetal selalu menuju ke pusat lingkaran. Persamaan untuk mencari besar percepatan sentripetal adalah:

$$a_s = \frac{v^2}{r}$$

$$a_s = \omega^2 r$$

- Pada roda-roda sepusat berlaku persamaan:

$$\omega_A = \omega_B$$

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{r_A}{r_B}$$

- Roda-roda yang dihubungkan dengan rantai atau tali mempunyai persamaan:

$$v_A = v_B$$

$$\omega_A r_A = \omega_B r_B$$

- Roda-roda yang bersinggungan mempunyai persamaan:

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{n_B}{n_A}$$

## Telaah Istilah

**Frekuensi** Banyaknya putaran yang ditempuh per satuan waktu

**Gerak melingkar beraturan** Gerak benda pada lintasan melingkar dengan kecepatan sudut dan kelajuan angular konstan

**Kecepatan linear** Kecepatan yang arahnya menyinggung lingkaran

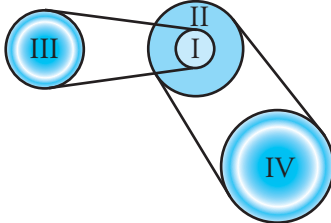
**Kecepatan sudut** Besarnya sudut yang ditempuh pada selang waktu tertentu

**Percepatan sentripetal** Percepatan dalam gerak melingkar yang arahnya menuju pusat lingkaran

**Periode** Waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran

## Ulangan Harian

### A Pilihlah jawaban yang benar

- Waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran disebut . . . .
  - periode
  - frekuensi
  - kecepatan
  - kelajuan angular
  - percepatan sentripetal
- Sebuah kipas angin berputar sebanyak 1.200 tiap 30 sekon. Periode dan frekuensi putaran kipas angin tersebut adalah . . . .
  - 40 s dan 0,25 Hz
  - 40 s dan 0,025 Hz
  - 40 s dan 0,0025 Hz
  - 0,025 s dan 40 Hz
  - 0,0025 s dan 40 Hz
- Dalam waktu 0,5 sekon, sebuah benda menempuh sudut  $\frac{1}{2} \pi$ . Kecepatan sudut benda tersebut adalah . . . rad/s
  - $2\pi$
  - $\pi$
  - $\frac{3}{4} \pi$
  - $\frac{1}{2} \pi$
  - $\frac{1}{4} \pi$
- Sebuah roda berputar dengan kelajuan linear 1,4 m/s. Jari-jari roda tersebut 7 cm. Waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran penuh yaitu . . . .
  - 3,14 s
  - 1 s
  - 0,314 s
  - 0,1 s
  - 0,0314 s
- Seseorang memutar sebuah benda dengan kecepatan awal 4 rad/s. Benda tersebut diputar dengan percepatan sudut  $0,5 \text{ rad/s}^2$ . Kecepatan benda pada sekon ke-empat adalah . . . rad/s.
  - 4,0
  - 4,5
  - 5,0
  - 6,0
  - 8,0
- Arus sungai dengan kelajuan 18,94 m/s digunakan untuk memutar kincir air. Diameter kincir air tersebut adalah 120 cm. Dalam 1 menit, kincir air akan berputar sebanyak . . . kali.
  - 108,1
  - 201,8
  - 301,8
  - 310,6
  - 312,6
- 

4 buah roda disusun seperti gambar. Pernyataan yang benar adalah . . . .

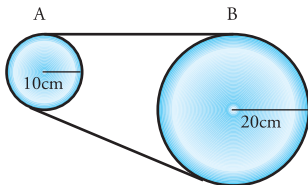
  - kecepatan sudut roda I dan II sama
  - kecepatan sudut roda II dan IV sama
  - kecepatan sudut roda I dan III sama
  - kecepatan linear roda III dan IV sama
  - kecepatan linear roda II dan III sama



8. Dua buah roda saling bersinggungan. Jejari roda I 3 cm dan jejari roda II 4 cm. Jika roda I berputar sebanyak 20 kali, maka roda II berputar sebanyak . . . kali.

a. 20                                      d. 15  
b. 18                                      e. 10  
c. 16

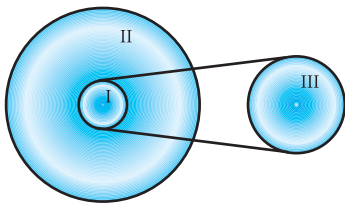
9.



Dua buah roda dihubungkan dengan sebuah rantai. Roda A berjari-jari 10 cm dan roda B berjari-jari 20 cm. Jika roda A berputar dengan kecepatan sudut 8 rad/s, kecepatan sudut roda B adalah . . .

a. 16 rad/s                              d. 4 rad/s  
b. 8 rad/s                              e. 4 m/s  
c. 8 m/s

10.



Perhatikan gambar di atas. Jejari roda I = 2 cm, jejari roda II = 8 cm, dan jejari roda III = 4 cm. Jika kecepatan sudut roda III = 30 rad/s, maka laju linear roda II adalah . . . m/s.

a. 2,2                                      d. 6,0  
b. 2,4                                      e. 15,0  
c. 4,8

11. Planet Mars berjarak 230 juta km dari Matahari. Untuk mengelilingi Matahari, planet Mars membutuhkan waktu 690 hari. Kecepatan linear planet Mars adalah . . .

a.  $2,09 \cdot 10^7$  km/hari  
b.  $2,09 \cdot 10^6$  km/jam  
c.  $2,09 \cdot 10^5$  km/jam  
d.  $2,09 \cdot 10^4$  km/hari  
e.  $2,09 \cdot 10^3$  km/jam

12. Seorang atlet lempar martil memutar martil sebelum dilempar. Dalam 5 sekon, martil berputar sebanyak 10 kali. Panjang tali yang digunakan adalah 1 m. Percepatan sentripetal yang dialami martil sebesar . . . m/s<sup>2</sup>.

a. 395,38                              d. 25,12  
b. 157,75                              e. 12,56  
c. 50,24

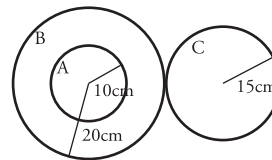
13. Sebuah roda berjari-jari 30 cm berputar pada porosnya. Dalam selang waktu 5 sekon kecepatan sudutnya berubah dari 10 putaran/sekon menjadi 50 putaran/sekon. Percepatan sudut roda tersebut adalah . . .

a. 15 putaran/sekon<sup>2</sup>  
b. 13 putaran/sekon<sup>2</sup>  
c. 12 putaran/sekon<sup>2</sup>  
d. 10 putaran/sekon<sup>2</sup>  
e. 8 putaran/sekon<sup>2</sup>

14. Seorang mengendarai sepeda dengan kecepatan 10,8 km/jam. Dalam waktu 10 sekon, kecepatannya berubah menjadi 7,2 km/jam. Jejari roda belakang, jejari gir belakang, dan jejari gir depan berurutan adalah 30 cm, 3 cm, dan 8 cm. Perlambatan sudut yang dialami gir depan adalah . . . rad/s<sup>2</sup>.

a. 125                                      d. 0,125  
b. 12,5                                      e. 0,0125  
c. 1,25

15.



Tiga buah roda dihubungkan seperti gambar. Jejari roda A, 10 cm, jejari roda B 20 cm, dan jejari roda C 15 cm. Roda A semula berputar dengan kecepatan sudut  $4\pi$  rad/s. Jika kecepatan sudut roda A dipercepat menjadi  $6\pi$  rad/s maka dalam waktu 2 s, percepatan yang dialami roda B dan roda C adalah . . . rad/s<sup>2</sup>.

a.  $2\pi$  dan  $8\pi$                               d.  $5,3\pi$  dan  $\pi$   
b.  $\pi$  dan  $5,3\pi$                               e.  $1,34\pi$  dan  $\pi$   
c.  $\pi$  dan  $1,34\pi$

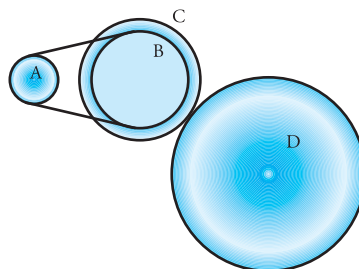


**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

- Jelaskan pengertian besaran fisika berikut.
  - Periode.
  - Frekuensi.
- Tunjukkanlah bahwa persamaan-persamaan pada gerak lurus berubah beraturan dapat dianalogikan dengan gerak melingkar berubah beraturan?
- Menurut kalian mengapa gir depan sepeda lebih besar dari gir belakang? Bagaimanakah jika kedudukan gir dibalik, gir depan lebih kecil dari gir belakang?
- Jelaskan mengapa *roller coaster* tidak terjatuh saat bergerak di lintasan berupa lingkaran?
- Diketahui jarak bumi-matahari 150 juta km. Periode bumi mengelilingi matahari adalah 365 hari. Jika orbit bumi dianggap lingkaran sempurna, berapakah kecepatan linear dan kecepatan sudut bumi?
- Angin dengan kecepatan 15 m/s berhembus dan memutar kincir angin. Akibat hembusan angin ini, kincir berputar 1.800 putaran tiap menit. Tentukan:
  - periode putaran kincir angin,
  - frekuensi putaran kincir angin,
  - jejari kincir,
  - kecepatan sudut kincir angin.
- Sebuah elektron mengelilingi inti atom dengan kecepatan  $2 \times 10^6$  m/s. Jari-jari lintasan elektron 0,05 nm. Hitunglah:
  - periode orbit elektron,
  - kecepatan sudut elektron,
  - percepatan sentripetal elektron.
- Mobil yang semula diam, telah melaju dengan kecepatan 36 km/jam dalam 10 sekond. Jejari ban mobil tersebut 20 cm. Tentukan:

- jarak yang ditempuh mobil
- kecepatan yang ditempuh mobil setelah  $t = 5$  sekond
- kecepatan sudut ban pada saat  $t = 5$  sekond dan  $t = 10$  sekond, dan
- percepatan sentripetal dan percepatan sudut ban mobil.

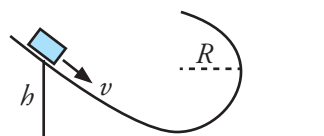
9.



Empat buah roda dihubungkan seperti gambar. Jejari roda A, B, C, dan D berturut-turut adalah 2 cm, 4 cm, 5 cm, dan 8 cm. Roda A diputar searah jarum jam dengan kecepatan sudut  $3\pi$  rad/s. Tentukan:

- arah putaran roda B, roda C, dan roda D,
- kecepatan sudut dan kecepatan angular roda B, roda C, dan roda D,
- banyaknya putaran yang dilakukan keempat roda dalam waktu 1 menit.

10.



Sebuah balok meluncur sempurna dari ketinggian 120 cm seperti pada gambar. Kecepatan awal balok 5 m/s dan jari-jari lintasan 80 cm. Agar balok sampai di ujung lintasan, maka kecepatan di dasar lintasan harus lebih besar dari  $\sqrt{5gR}$ . Dapatkah balok mencapai ujung lintasan?

# B a b V

## Gaya dan Gerak



*Tempo, edisi 5-11 Desember 2005, hlm. 64*

Untuk menghindari jatuhnya lagi ribuan korban akibat gelombang tsunami, pemerintah Indonesia dan Jerman telah bekerjasama memasang alat pemantau tsunami yang diberi nama *Buoy*. Alat yang sangat berat dengan massa sekitar 4,2 ton (4.200 kg) tersebut dipasang pada beberapa titik di Samudera Indonesia. Bagaimanakah para teknisi memasang *Buoy* yang sangat berat tersebut? Ya, sistem katrol akan menjawabnya. Dengan sistem katrol, *Buoy* dapat dipindahkan dengan mudah. Nah, inilah salah satu tema kita kali ini. Dengan gaya yang kecil, kita dapat menggunakan katrol untuk mengangkat benda yang jauh lebih berat? Simak baik-baik uraiannya.

**Kata Kunci**

- Gaya
- Hukum Newton
- Inersia/kelembaman
- Gesekan statis
- Gesekan kinetis
- Gaya sentripetal
- Percepatan

Di bab sebelumnya, kalian telah mempelajari gerak benda tanpa memerhatikan penyebabnya. Di bab ini, kalian akan mempelajari penyebab gerak benda, baik gerak lurus ataupun gerak melingkar. Sebuah benda yang semula diam dapat bergerak jika dikenai suatu gaya. Pengaruh gaya pada suatu benda dapat dijelaskan dengan hukum-hukum Newton tentang gerak benda.

Setelah mempelajari materi di bab ini, kalian diharapkan mampu memberikan contoh penerapan Hukum Newton dalam kehidupan sehari-hari dan merancang percobaan sederhana untuk membuktikan kebenaran hukum-hukum Newton. Lebih jauh lagi, kalian diharapkan mampu melakukan analisis kuantitatif untuk menjelaskan gerak benda, baik gerak lurus maupun gerak melingkar, berdasarkan hukum-hukum Newton.

## A Hukum Newton

Dalam melakukan aktivitas sehari-hari, kita tidak pernah lepas dari konsep gerak. Pada bab III, kalian telah mempelajari gerak lurus. Pada bab IV, kalian telah mempelajari gerak melingkar. Pada kedua bab tersebut, kalian tidak mempelajari faktor yang menyebabkan benda bergerak. Ilmu yang mempelajari gerak benda tanpa memerhatikan penyebabnya dinamakan **kinematika**. Pada bab ini, kalian akan mempelajari gerak benda, sekaligus penyebab geraknya. Ilmu yang mempelajari gerak benda dan penyebabnya disebut **dinamika**.

Newton adalah ilmuwan yang banyak mempelajari penyebab gerak benda. Menurut Newton, penyebab gerak benda adalah **gaya**. Newton mengemukakan tiga hukum yang berkaitan dengan gerak benda, yaitu Hukum I Newton, Hukum II Newton, dan Hukum III Newton. Sebagai pengenalan sebelum membahas lebih jauh mengenai hukum-hukum Newton, coba kalian kerjakan *Eureka* berikut.

## Eureka

Diskusikan jawaban dari pelbagai permasalahan berikut bersama teman kalian.

1. Kalian berada di dalam mobil yang melaju kencang. Jika tiba-tiba mobil direm, kalian akan terdorong ke depan. Bagaimanakah hal tersebut dapat terjadi?
2. Jika kalian mendorong bagian belakang gerobak searah dengan arah gerak gerobak, bagaimanakah kecepatan gerobak tersebut? Bagaimanakah pula, jika kalian mendorong berlawanan dengan arah gerak gerobak? Gambarkan diagram gaya yang bekerja pada gerobak.
3. Kita dapat berjalan dengan mudah pada lantai yang tidak licin. Akan tetapi, kita kesulitan jika berjalan di jalan yang licin. Bagaimanakah penjelasan kalian?

Konsultasikan hasil diskusi kalian kepada Bapak atau Ibu Guru.

Dengan melakukan diskusi tersebut, kalian secara tidak langsung telah mengetahui contoh penerapan Hukum Newton. Bagaimanakah Hukum Newton menjelaskan kejadian tersebut? Untuk lebih jelasnya, simaklah dengan saksama uraian selanjutnya.

## 1. Hukum I Newton

Sebelum zaman Galileo, sebagian ahli filsafat beranggapan bahwa keadaan alami benda adalah pada saat diam. Menurut mereka, agar benda tetap bergerak diperlukan gaya yang bekerja terus-menerus. Jika gaya yang bekerja pada benda dihilangkan, maka benda akan berhenti. Pendapat tersebut didasarkan pada fenomena yang mereka lihat. Sebagai contoh adalah balok yang bergerak di lantai yang kasar maka lama-kelamaan akan berhenti jika tidak ada gaya yang mendorong atau menariknya.

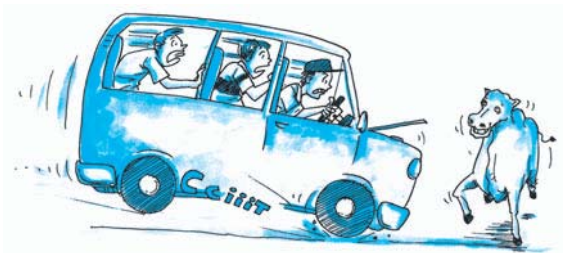
Namun, jika dasar balok dibuat halus dan lantai dibuat licin, maka balok akan bergerak lebih jauh. Apalagi jika tidak ada gesekan antara balok dengan lantai, maka balok akan terus bergerak dengan kecepatan konstan. Dengan kata lain, benda akan bergerak lurus beraturan walaupun sudah tidak ada gaya yang bekerja padanya. Kejadian yang dialami balok tersebut menggunakan prinsip Hukum I Newton.

**Hukum I Newton** menyatakan jika resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol ( $\Sigma F = 0$ ), maka benda yang diam akan tetap diam, dan benda yang bergerak akan bergerak lurus beraturan.

Secara matematis, Hukum I Newton dinyatakan sebagai berikut.

$\Sigma F = 0$ , maka  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Benda diam } (v = 0 \text{ m/s}). \\ \text{Benda bergerak lurus beraturan } (v = \text{konstan}). \end{array} \right.$


Hukum I Newton disebut juga **Hukum Inersia** atau **Hukum Kelembaman** benda. Inersia atau kelembaman benda diartikan sebagai sifat suatu benda untuk mempertahankan keadaannya. Benda yang semula diam cenderung akan tetap diam dan benda yang semula bergerak cenderung akan tetap bergerak.



Gambar 5.1 Penumpang mobil terdorong ke depan saat mobil direm mendadak.

Contoh sifat kelembaman adalah ketika kalian sedang naik mobil atau kendaraan lainnya. Jika mobil semula diam, kemudian secara tiba-tiba bergerak, kalian akan terdorong ke belakang. Jika semula mobil melaju kencang kemudian direm mendadak, kalian akan terdorong ke depan. Kejadian ini terjadi karena kalian berusaha mempertahankan keadaan semula.

Mozaik



**Sir Isaac Newton** (1643-1727) adalah seorang ahli fisika, matematika, dan filsafat dari Inggris. Temuannya yang terkenal antara lain hukum gravitasi, hukum gerak, kalkulus, spektrum cahaya, dan teleskop pantul. Bukunya yang sangat terkenal berjudul *Principia* dan *Optika*.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 120

Nah, agar kalian memahami prinsip Hukum I Newton atau Hukum Inersia, lakukan *Eksperimen* berikut.

## **Eksperimen** Menyelidiki Hukum I Newton

### **A. Dasar Teori**

Hukum I Newton merupakan hukum yang menjelaskan gerak benda. Menurut hukum ini, benda mempunyai sifat untuk mempertahankan kedudukannya. Artinya, benda yang mula-mula diam akan tetap diam jika resultan gaya luar yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol. Sama halnya dengan benda yang mula-mula bergerak, maka benda itu akan terus bergerak dengan kecepatan tetap. Sifat benda yang cenderung mempertahankan kedudukannya disebut inersia (kelembaman). Menurut Hukum I Newton, jika resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol, maka benda tersebut akan diam atau bergerak lurus beraturan (mempunyai kecepatan tetap).

### **B. Tujuan Percobaan**

Setelah melakukan percobaan ini, kalian diharapkan mampu:

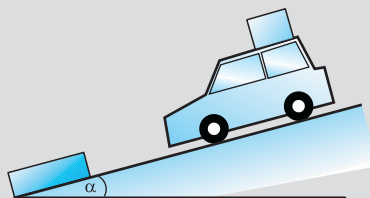
1. Mendefinisikan Hukum I Newton tentang gerak benda.
2. Memahami pengertian kelembaman benda (inersia).
3. Memberikan contoh aplikasi hukum I Newton dalam kehidupan sehari-hari.

### **C. Alat dan Bahan**

- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Mobil-mobilan baterai 1 buah. | 4. Batu bata 1 buah.                  |
| 2. Kotak kecil 1 buah.           | 5. Uang logam 100-an 10 buah.         |
| 3. Papan luncur.                 | 6. Penggaris yang terbuat dari logam. |

### **D. Langkah Kerja**

1. Pembuktikan benda yang mula-mula bergerak akan terus bergerak.
  - a. Susunlah alat percobaan seperti gambar disamping.
  - b. Hidupkan mobil-mobilan. Biarkan mobil-mobilan meluncur dan menabrak batu bata.
  - c. Amatilah keadaan kotak kecil pada saat mobil-mobilan menabrak batu bata.
2. Pembuktikan benda yang mula-mula diam akan terus diam.
  - a. Tumpuklah 10 buah uang logam 500-an di pinggir meja.
  - b. Sentillah uang logam paling bawah menggunakan penggaris secara perlahan. Amati uang logam lain di atasnya.
  - c. Sentillah dengan cepat uang logam paling bawah dari samping menggunakan penggaris, sehingga uang logam tersebut terpisah dari uang logam lainnya. Amatilah keadaan tumpukan 9 uang logam lainnya.



### **E. Pembahasan**

1. Apakah yang terjadi dengan kotak pada saat mobil-mobilan menabrak batu bata?
  2. Apakah yang dapat kalian simpulkan dari percobaan nomor 1?
  3. Apakah yang terjadi dengan 9 tumpukan logam di atas logam yang disentil secara perlahan? Bagaimana pula ketika disentil dengan cepat?
  4. Apakah yang dapat kalian simpulkan dari percobaan nomor 2?
  5. Berikan contoh kegiatan lain yang dapat membuktikan Hukum I Newton.
- Tulislah laporan hasil percobaan kalian dan kumpulkan kepada guru kalian.

Dari hasil eksperimen, kalian telah mengetahui contoh penerapan Hukum I Newton. Hukum I Newton dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan keseimbangan. Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seekor kuda menarik kereta ke arah barat dengan gaya 300 N. Di belakang kereta, tiga orang menarik kereta tersebut. Agar kereta tidak berjalan, berapakah gaya yang harus diberikan ketiga orang tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $F_1 = 300$  N ke barat

**Ditanyakan:**  $F_2$  agar kereta tidak bergerak.

**Jawab:**

agar kereta tidak bergerak, maka  $\Sigma F = 0$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_1 + F_2 = 0$$

$$300 + F_2 = 0$$

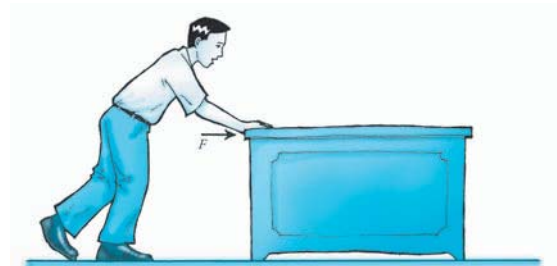
$$F_2 = -300 \text{ N } (F_2 \text{ berlawanan arah dengan } F_1).$$

Jadi, gaya yang harus diberikan agar kereta tidak bergerak adalah 300 N ke timur.

Hukum I Newton hanya menjelaskan gerak benda dengan resultan gaya sama dengan nol. Bagaimanakah jika resultan gaya yang bekerja pada benda tidak sama dengan nol? Untuk mengetahuinya, pelajari materi selanjutnya.

## 2. Hukum II Newton

Doronglah sebuah meja yang terletak di lantai datar hingga meja bergerak. Tambahkan besar gaya dorong kalian setiap saat. Bagaimanakah kecepatan meja? Ketika kalian mendorong meja dapat dikatakan bahwa kalian memberi gaya pada meja yang menyebabkan meja bergerak. Ketika gaya ditambahkan, meja akan bergerak dengan kecepatan yang berubah setiap saat. Semakin lama, geraknya semakin cepat yang berarti benda mengalami **percepatan**. Dari kejadian ini, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa gaya dapat menyebabkan percepatan.



Gambar 5.2 Akibat gaya yang diberikan siswa, meja bergerak dengan percepatan tertentu.

Bagaimanakah hubungan antara gaya dan percepatan? Untuk mengetahuinya, lakukanlah percobaan pada *Eksperimen* di bawah ini.

## Eksperimen Menyelidiki Hubungan Gaya, Massa dan Percepatan

### A. Dasar Teori

Gaya merupakan penyebab gerak benda. Untuk memindahkan benda yang bermassa besar, kita memerlukan gaya yang besar juga. Jika kita memberikan gaya yang sama pada dua benda yang berbeda massanya, maka benda yang bermassa kecil akan bergerak lebih cepat. Sementara itu, benda yang bermassa besar akan bergerak lebih lambat. Kecepatan benda yang diberikan gaya selalu berubah setiap saat. Dengan kata lain, benda mengalami percepatan yang sebanding dengan gaya yang diberikan.

## B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan percobaan ini, kalian diharapkan mampu:

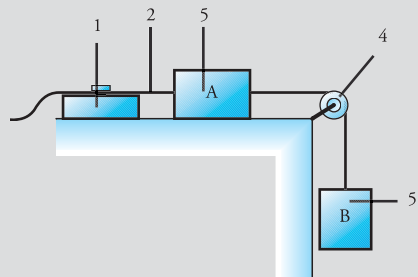
1. Menyatakan hubungan antara gaya dan percepatan benda.
2. Menyatakan hubungan antara percepatan dan massa benda.
3. Menyatakan hubungan antara gaya, massa, dan percepatan benda.
4. Menunjukkan contoh aplikasi Hukum II Newton pada peristiwa sehari-hari.

## C. Alat dan Bahan

1. *Ticker timer*.
2. Kertas pita.
3. Tali.
4. Katrol.
5. Balok kayu dengan massa berbeda (6 buah).
6. Gunting.
7. Penggaris.
8. Neraca.

## D. Langkah Kerja

1. Mencari hubungan gaya dengan percepatan.
  - a. Ukurlah massa setiap balok kayu dengan neraca. Berilah tanda pada setiap balok dari massa terkecil dengan nomor 1 sampai 6.
  - b. Susunlah alat seperti gambar, dengan ketentuan massa balok B lebih **besar** dari massa balok A ( $m_B > m_A$ ).
  - c. Pasanglah balok nomor 1 pada posisi A dan balok nomor 2 pada posisi B. Tahanlah balok B agar tidak jatuh.
  - d. Hidupkan *ticker timer* dan lepaskan balok B. Tepat ketika balok B sampai di lantai, matikan *ticker timer*.
  - e. Ambillah pita kertas dan potonglah setiap 5 titik. Kemudian, ukurlah panjang setiap potongan pita.
  - f. Ulangilah langkah 1.c sampai 1.e, dengan mengganti balok B dengan balok nomor 3, 4, 5, dan 6.
  - g. Catatlah hasil percobaan pada tabel berikut.



Massa balok A ( $m_A = \dots$  kg).

$m_B$ (kg)	Berat balok B ( $w$ )	Panjang potongan pita (m)

2. Mencari hubungan percepatan dengan massa.
  - a. Ulangilah langkah 2.c sampai 2.e, dengan mengganti balok A dengan balok no.2, dan balok B dengan balok no.6.
  - b. Ulangilah langkah 3.a dengan mengganti balok A dengan balok no.3, 4, dan 5.
  - c. Catatlah hasil percobaan pada tabel berikut.

Massa balok B ( $m_B = \dots$  kg).

$m_A$ (kg)	Panjang potongan pita (m)



#### E. Pembahasan

1. Pada subbab gerak lurus, kalian telah melakukan percobaan dengan *ticker timer*. Menunjukkan apakah titik-titik pada potongan pita kertas?
  2. Buatlah grafik hubungan kecepatan ( $v$ ) dengan waktu ( $t$ ) berdasarkan data hasil percobaan nomor 1 dan nomor 2.
  3. Hitunglah besar percepatan benda berdasarkan grafik hubungan kecepatan dan waktu tersebut.
  4. Dari hasil percobaan nomor 1, buatlah grafik hubungan antara berat balok B dan percepatan.
  5. Dari hasil percobaan nomor 2, buatlah grafik hubungan antara percepatan dengan massa balok A.
  6. Bagaimanakah bentuk grafik hubungan percepatan dan gaya?
  7. Bagaimanakah bentuk grafik hubungan percepatan dan massa benda?
  8. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan.
- Tuliskanlah hasil laporan kalian dan kumpulkan kepada guru.

Perhatikan sekali lagi hasil percobaan yang telah kalian lakukan. Ketika mencari hubungan antara gaya dengan percepatan (percobaan no.1), kalian menggunakan balok B yang berbeda dan balok A tetap. Dengan kata lain, balok A sebagai variabel tetap, balok B sebagai variabel bebas, dan percepatan sebagai variabel terikat. Pada percobaan tersebut, balok B menarik balok A. Besarnya tarikan atau gaya yang diberikan balok B sama dengan gaya beratnya ( $w$ ). Jadi,

$$\begin{aligned} F_A &= w_B \\ F_A &= m_B g \end{aligned}$$

Dengan melihat hasil percobaan, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa semakin besar massa balok B, percepatan balok A (dapat dilihat dari jarak titik-titik pada pita kertas) juga semakin besar. Dengan kata lain, **percepatan berbanding lurus dengan gaya yang dialami benda.**

$$a \approx F$$

Perhatikan hasil percobaan untuk mencari hubungan massa dengan percepatan (percobaan no.2). Pada percobaan ini, balok B dibuat tetap, sehingga gaya yang bekerja pada balok A besarnya tetap. Gaya tetap ini diberikan pada benda dengan massa yang berbeda. Dari hasil percobaan dapat dilihat, semakin besar massa balok A percepatan geraknya semakin kecil. Ini berarti **besar percepatan berbanding terbalik dengan massa benda**, atau dapat dituliskan dalam bentuk,

$$a \approx \frac{1}{m}$$

Dari dua persamaan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa percepatan yang dialami benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja, dan berbanding terbalik dengan massa benda. Kesimpulan ini dikenal sebagai **Hukum II Newton**.



**Hukum II Newton** menyatakan bahwa jika satu atau lebih gaya bekerja pada benda, maka percepatan yang dihasilkan berbanding lurus dan searah dengan resultan gaya dan berbanding terbalik dengan massa benda.

Hukum II Newton dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$\sum F = m a$$

**Keterangan:**

$\sum F$  = resultan gaya (N)

$m$  = massa benda (kg)

$a$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )

Untuk mengetahui penerapan Hukum II Newton, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah balok bermassa 10 kg ditarik seseorang dengan gaya 90 N ke barat. Satu orang dibelakangnya, menarik balok dengan gaya 110 N ke arah timur. Perhatikan gambar.



Jika gaya gesek antara balok dan lantai dianggap nol, berapakah percepatan balok tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 10 \text{ kg}$ .

$F_1 = 110 \text{ N}$

$F_2 = -90 \text{ N}$  (tanda – menunjukkan  $F_2$  berlawanan dengan  $F_1$ )

**Ditanyakan:**  $a$

**Jawab:**

Untuk mencari percepatan benda, gunakan persamaan,

$$\sum F = m a$$

$$F_1 + F_2 = m a$$

$$110 - 90 = 10 a$$

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

Jadi percepatan yang dialami benda adalah 2  $\text{m/s}^2$  ke timur.

Contoh tersebut merupakan salah satu contoh penerapan Hukum II Newton pada gerak lurus. Bagaimanakah kita menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan penerapan Hukum II Newton dalam kehidupan sehari-hari? Untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan Hukum II Newton dalam kehidupan sehari-hari, kita perlu mendefinisikan beberapa konsep, yaitu berat benda dan gaya normal. Untuk keterangan lebih lanjut, simaklah penjelasan berikut.

### a. Gaya Berat

Di SMP/MTs, kalian telah mempelajari perbedaan massa dan berat benda. Untuk mengingatkan kembali kalian dengan konsep massa dan berat benda, jawablah pertanyaan-pertanyaan pada *Eksedisi* berikut.

## **E**kspedisi

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut berdasarkan pengetahuan yang telah kalian kuasai.

1. Massa dan berat merupakan besaran fisika. Jelaskan pengertian massa dan berat?
2. Kalian sering mengatakan berat benda dalam satuan kilogram. Benarkah pernyataan

an kalian? Untuk menyatakan berat benda, satuan apakah yang harus kalian gunakan?

3. Buatlah tabel yang menyatakan perbedaan antara massa dan berat.

Tuliskan jawaban kalian dan presentasikan di depan kelas.

Dari *Ekspedisi* dan materi yang telah kalian pelajari di MTs/SMP, kalian telah mengetahui perbedaan antara massa dan berat benda. Massa benda dimanapun selalu tetap. Akan tetapi, berat benda selalu berubah tergantung besarnya percepatan gravitasi di tempat benda berada.

Selain mengajukan tiga hukum tentang gerak, **Newton** juga mengajukan **Hukum Gravitasi Universal**. Hukum gravitasi ini digunakan untuk menjelaskan interaksi antara dua benda. Hukum gravitasi menyatakan bahwa dua buah benda dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$  yang berada pada jarak  $r$  mempunyai gaya tarik-menarik sebesar,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

**Keterangan:**

$F$  = gaya tarik-menarik (N)

$G$  = tetapan gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )

$m_1$  = massa benda 1 (kg)

$m_2$  = massa benda 2 (kg)

$r$  = jarak kedua benda (m)

Berdasarkan persamaan di atas, jika  $m_1$  adalah massa bumi dan  $m_2$  adalah massa benda yang masih terpengaruh gaya tarik bumi, maka percepatan gravitasi ( $g$ ) bumi dirumuskan sebagai berikut.

$$g = G \frac{m_1}{r^2}$$

Dari persamaan tersebut, besarnya gaya tarik bumi terhadap benda-benda di bumi dapat dituliskan:

$$F = m g$$

Gaya tarik bumi inilah yang disebut **gaya berat** ( $w$ ) dengan satuan newton (N). Jadi, gaya berat atau berat benda dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$w = m g$$

**Keterangan:**

$w$  = berat benda (N)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Berdasarkan persamaan tersebut, berat benda tergantung pada besarnya percepatan gravitasi di tempat benda berada. Untuk menambah pemahaman kalian tentang berat benda, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

1. Sebuah kelapa mempunyai massa 2 kg. Berapakah berat kelapa, jika percepatan gravitasi di tempat itu  $9,8 \text{ m/s}^2$ ?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 2 \text{ kg}$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

**Ditanyakan:**  $w$

**Jawab:**

Untuk mencari berat benda, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned} w &= m g \\ &= (2) \times (9,8) \\ &= 19,6 \text{ N} \end{aligned}$$

- Jadi berat kelapa tersebut adalah 19,6 N
2. Seorang astronot ketika ditimbang di bumi beratnya 588 N. Berapakah berat astronot tersebut jika ditimbang di bulan yang mempunyai percepatan gravitasi 1/6 kali gravitasi bumi?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $w_{\text{bumi}} = 588 \text{ kg}$

$$g_{\text{bulan}} = \left(\frac{1}{6}\right) \times g_{\text{bumi}}$$

**Ditanyakan:**  $w_{\text{bulan}}$

**Jawab:**

Perlu diingat bahwa massa benda di manapun selalu sama. Jadi,

$$m_{\text{bm}} = m_{\text{bl}}$$

$$\frac{w_{\text{bm}}}{g_{\text{bm}}} = \frac{w_{\text{bl}}}{g_{\text{bl}}}$$

$$\begin{aligned} w_{\text{bl}} &= \frac{w_{\text{bm}} g_{\text{bl}}}{g_{\text{bm}}} \\ &= \frac{(588) \times \left(\frac{1}{6} g_{\text{bm}}\right)}{g_{\text{bm}}} \\ &= 98 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, berat benda tersebut di bulan adalah 98 N.

## b. Gaya Normal

Kalau kita perhatikan, arah berat benda selalu menuju pusat bumi. Dengan adanya gaya berat ini, benda akan cenderung jatuh menuju pusat bumi. Namun, pernahkan kalian berpikir, mengapa benda yang berada di atas meja tidak jatuh ke bumi? Benda yang berada di atas meja tidak jatuh ke bumi disebabkan karena meja memberikan gaya tegak lurus meja yang arahnya ke atas pada benda tersebut. Gaya yang diberikan meja ini disebut **gaya normal** ( $N$ ).

Secara umum, **gaya normal diartikan sebagai gaya yang arahnya tegak lurus bidang**. Untuk benda pada bidang datar, besarnya gaya normal sama dengan gaya berat benda.

$$\begin{aligned} N &= w \\ N &= m g \end{aligned}$$

Yang perlu kalian perhatikan, gaya normal dan gaya berat benda bekerja pada benda yang berbeda. Jadi, kedua gaya ini tidak bisa saling menghilangkan (keterangan lebih lanjut akan kalian dapatkan pada Hukum III Newton).

Diagram gaya berat dan gaya normal yang bekerja pada benda yang terletak pada bidang dapat kalian lihat pada Gambar 5.3.

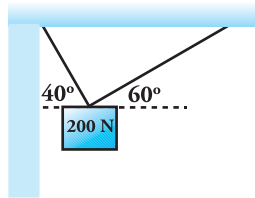
Nah, untuk menambah wawasan kalian, kerjakan soal-soal pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Mengapa pengemudi mobil dianjurkan menggunakan sabuk pengaman? Adakah hubungan pemakaian sabuk pengaman dengan hukum I Newton?
2. Seorang anak sedang bermain bola di dalam mobil yang sedang melaju. Anak tersebut melemparkan bola ke atas beberapa kali. Ketika bola sedang melayang di atas, tiba-tiba mobil direm mendadak. Kemanakah bola tersebut akan jatuh? Di depan, di

belakang, ataukah kembali ke tangan anak tersebut? Jelaskan alasan jawaban kalian.

3. Sebuah benda digantung dengan dua buah tali seperti tampak pada gambar. Dari gambar tersebut, berapakah tegangan tali pertama dan tegangan tali kedua? Petunjuk: uraikan gaya yang bekerja pada benda pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ . Benda dikatakan seimbang apabila  $\sum F_x = \sum F_y = 0$ .



## B Hukum III Newton

Pernahkah kalian meniup balon dan kemudian melepaskannya tanpa mengikat mulutnya? Ketika kalian meniup balon dan melepaskan tanpa mengikat mulutnya, balon tersebut akan melesat terbang. Pada saat balon melesat, udara di dalam balon keluar dan mendorong udara di luar balon. Akibat dorongan udara dari dalam balon, udara di luar balon memberikan dorongan ke balon. Dorongan yang diberikan udara di luar balon berlawanan dengan dorongan udara dari dalam balon. Akibat dari dorongan udara di luar balon ini, balon dapat melesat terbang.



Gambar 5.4 Balon melesat terbang karena adanya dorongan udara luar yang melawan dorongan udara dari dalam balon.

Contoh tersebut merupakan salah satu contoh peristiwa yang berdasar pada Hukum III Newton.

**Hukum III Newton** mengatakan bahwa jika suatu gaya diberikan pada suatu benda (aksi), maka benda tersebut akan memberikan gaya yang sama besar dan berlawanan dengan gaya yang diberikan (reaksi).

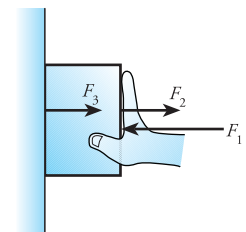
Hukum III Newton dituliskan sebagai berikut.

$$F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}}$$

Dari contoh di atas, manakah yang termasuk gaya aksi ( $F_{\text{aksi}}$ ) dan gaya reaksi ( $F_{\text{reaksi}}$ )? Jika gaya aksi adalah gaya yang diberikan udara di dalam balon, maka gaya reaksi adalah gaya yang diberikan udara di luar balon kepada balon. Hal yang perlu diperhatikan adalah **pasangan aksi-reaksi bekerja pada benda yang berbeda**. Perhatikan diagram gaya pada Gambar 5.5.

Dari gambar tersebut, pasangan gaya manakah yang menunjukkan pasangan aksi-reaksi? Pasangan  $F_1$  dan  $F_2$  merupakan pasangan aksi-reaksi, sebab keduanya bekerja pada benda yang berbeda. Sedangkan  $F_3$  dan  $F_1$  bukan pasangan aksi reaksi, karena bekerja pada benda yang sama.

Agar kalian lebih mudah memahami Hukum III Newton, lakukanlah *Eksperimen* berikut ini.



Gambar 5.5 Diagram yang menunjukkan beberapa pasangan gaya.

## Ekspерimen Membuktikan Hukum III Newton

### A. Dasar Teori

Berdasarkan Hukum III Newton, jika kita memberikan gaya pada suatu benda (aksi), maka benda tersebut akan memberikan gaya kepada kita (reaksi). Besarnya gaya yang diberikan benda kepada kita (reaksi) sama dengan besar gaya yang kita berikan (aksi). Namun, arah gaya reaksi berlawanan dengan arah gaya aksi. Jika kita mendorong tembok, maka tembok akan mendorong kita dengan gaya yang sama besar dengan gaya dorong kita. Demikian juga sebaliknya.

Sebuah benda yang tergantung pada tali, mempunyai gaya berat yang arahnya ke bawah. Akibat gaya berat ini, tali memberikan gaya yang sama besar dengan gaya berat, tetapi arahnya ke atas. Jika tali ini kita ganti dengan 2 buah neraca pegas, akan tampak kedua neraca pegas menunjuk skala yang sama.

### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan percobaan ini, kalian diharapkan mampu :

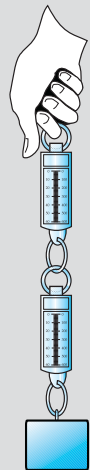
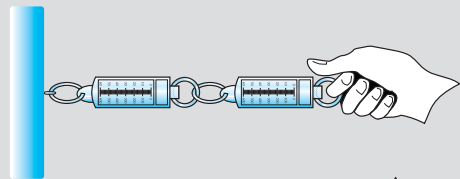
1. Mengetahui prinsip Hukum III Newton.
2. Memberikan contoh benda-benda yang bekerja berdasarkan Hukum III Newton.

### C. Alat dan Bahan

1. Neraca pegas (2 buah).
2. Beban (0,5 kg, 1 kg, dan 2 kg)

### D. Langkah Kerja

1. Aksi-reaksi pada tembok
  - a. Susunlah kedua neraca pegas seperti gambar di samping.
  - b. Tariklah neraca pegas secara perlahan sampai menunjukkan skala tertentu. Perhatikan skala yang terbaca pada kedua neraca pegas tersebut.
2. Aksi-reaksi pada beban yang tergantung.
  - a. Susunlah kedua neraca pegas dan beban 0,5 kg seperti gambar.
  - b. Bacalah skala yang ditunjukkan kedua neraca pegas tersebut.
  - c. Ulangilah langkah a dan b dengan mengganti beban yang lain.



### E. Pembahasan

1. Pada percobaan nomor 1 dan nomor 2, apakah skala pada kedua neraca pegas menunjukkan angka yang sama?
2. Dari gambar pada percobaan nomor 1 dan nomor 2, manakah yang menunjukkan pasangan aksi-reaksi? Jelaskan.
3. Berikan contoh benda yang bekerja berdasarkan prinsip Hukum III Newton. Buatlah laporan hasil percobaan, kemudian kumpulkan kepada guru kalian.

**Gambar 5.6**  
Roket menyemburkan gas pada saat peluncuran. Akibatnya, gas memberikan gaya dorong kepada roket.



Microsof Encarta Premium 2006

Dari percobaan tersebut, kalian telah mengenal prinsip Hukum III Newton. Salah satu contoh benda yang bekerja berdasarkan prinsip Hukum III Newton adalah roket. Pada saat peluncuran, roket menyemburkan gas dengan gaya yang besar ke udara di bawahnya. Akibatnya, gas memberikan reaksi berupa gaya dorong terhadap roket dengan gaya yang sama besar dengan gaya semburan

gas. Dengan adanya gaya dorong inilah roket dapat meluncur di udara. Bisakah kalian memberikan contoh yang lainnya?

Nah, untuk mengetahui tingkat pemahaman kalian tentang Hukum III Newton, kerjakan soal-soal pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Bagaimanakah Hukum III Newton menjelaskan tentang gerak?
2. Berikan contoh benda yang bekerja berdasarkan prinsip Hukum III Newton.
3. Seorang siswa mendorong tembok dengan gaya 50 N. Berapakah gaya yang diberikan tembok kepada siswa tersebut? Gambarkan diagram gaya yang bekerja pada tembok dan pada tangan siswa tersebut.
4. Sebuah pesawat antariksa diluncurkan dengan menggunakan roket. Roket ini mempunyai tiga tabung gas. Setiap tabung dalam 1 sekon mampu menyemburkan 5 kg gas dengan kecepatan 400 m/s. Jika massa total roket dan pesawat ulang-alik 2 ton, berapakah percepatan roket 1 sekon setelah peluncuran?

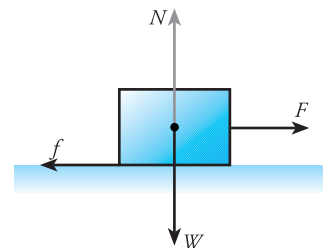
## C Gaya Gesek

Suatu benda yang berada di atas bidang tidak jatuh ke bumi disebabkan karena adanya gaya normal. Namun, ada gaya lain yang bekerja pada benda yang bergerak dan menyebabkan berhenti. Gaya ini adalah **gaya gesek** atau **gesekan**. Bagaimanakah gaya gesek ini bekerja?

Gesekan mungkin bukan istilah baru bagi kalian. Gesekan terjadi jika ada dua benda yang bersinggungan satu sama lain. Dalam fisika, gesekan disebut juga gaya gesek yaitu **gaya yang diakibatkan dua benda bersinggungan**. Jika pada sebuah benda bekerja gaya tertentu sehingga benda bergerak, maka **arah gaya gesek** berlawanan dengan arah gerak benda. Gaya gesek disimbolkan dengan huruf  $f$  (*friction*).

Gaya gesek bekerja pada garis singgung kedua benda. Misalkan, sebuah benda yang terletak pada suatu bidang dikenai gaya sebesar  $F$ . Diagram gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut dapat kalian lihat pada Gambar 5.7.

Banyak peristiwa sehari-hari yang berkaitan dengan gaya gesek. Untuk mengetahuinya, kerjakan *Eureka* berikut.



Gambar 5.7 Diagram gaya-gaya pada benda di atas bidang datar.

## Eureka

**Lakukan diskusi dengan teman di samping kalian untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.**

1. Ketika kalian menggeser sebuah kotak di lantai yang licin dan di lantai tanah yang kasar, manakah yang menggunakan gaya yang lebih besar? Dengan demikian, manakah gaya gesek yang lebih besar, lantai licin ataukah lantai kasar?

2. Olahraga ski dilakukan di tempat yang bersalju. Bisakah kita bermain ski di pantai yang berpasir? Jelaskan alasannya.
3. Apakah tujuan ban sepeda, sepeda motor, atau mobil dibuat beralur? Apakah yang akan terjadi jika ban sepeda motor dan mobil halus?

Tulislah hasil diskusi kalian, dan kumpulkan kepada guru.

Dari hasil diskusi pada *Eureka* tersebut, kalian telah mengetahui bahwa tingkat kekasaran bidang yang saling bersinggungan akan memengaruhi besar gaya gesek. Semakin kasar bidang yang bersinggungan, semakin besar pula gaya geseknya.

## 1. Macam-macam Gaya Gesekan

Menurut **Leonhard Euler**, dilihat dari gerakannya, gaya gesek dibagi menjadi dua macam, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

### a. Gaya Gesek Statis

Menurut Hukum I Newton, pada benda yang diam, resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol. Berdasarkan hukum ini, ketika kita mendorong meja tetapi meja tersebut masih diam, tentunya ada gaya lain yang melawan gaya dorong yang kalian berikan. Gaya tersebut adalah gaya gesek antara kaki-kaki meja dengan lantai. Gaya gesek ini bekerja pada meja yang diam, sehingga disebut gaya **gesek statis** ( $f_s$ ). Jadi, **gaya gesek statis adalah gaya gesek yang bekerja pada benda yang diam.**

Kalian telah mengetahui bahwa besarnya gaya gesek tergantung pada kekasaran permukaan benda dan bidang yang bersentuhan. Tingkat kekasaran ini dinyatakan dengan **koefisien gesekan**. Untuk benda diam, koefisien gesekan disebut **koefisien gesekan statis**, disimbolkan  $\mu_s$ . Selain tingkat kekasaran permukaan benda, besarnya gaya gesek dipengaruhi oleh besar **gaya normal** ( $N$ ) yang diberikan bidang pada benda. Untuk mengetahui hubungan antara gaya gesek statis, koefisien gesekan statis, dan gaya normal benda, lakukan *Eksperimen* berikut.

## Mozaik

Hukum gerak yang melibatkan gesekan, pertama kali diungkapkan secara eksperimen oleh Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Ia menemukan dua sifat gaya gesekan, yaitu:

1. gaya gesekan sebanding dengan beban.
2. gaya gesekan tidak tergantung pada luas permukaan benda yang bersentuhan.

## Eksperimen Mencari Hubungan Gaya Gesek Statis dengan Gaya Normal

### A. Dasar Teori

Gaya gesek statis ( $f_s$ ) adalah gaya gesek yang bekerja pada benda yang diam yang berada pada suatu bidang. Besarnya gaya gesek statis sangat dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan benda dan bidang yang bersinggungan. Tingkat kekasaran permukaan benda dan bidang yang bersinggungan, dinyatakan dengan koefisien gesekan statis ( $\mu_s$ ). Koefisien gesekan statis mempunyai nilai  $0 < \mu_s < 1$ . Untuk nilai  $\mu_s = 0$  berarti permukaan benda dan bidang yang bersinggungan sangat licin. Sementara itu, untuk nilai  $\mu_s = 1$ , permukaan benda dan bidang yang bersinggungan sangat kasar. Semakin kasar permukaan benda dan bidang yang bersinggungan, semakin besar gaya gesekan statisnya.

Selain tingkat kekasaran, besarnya gaya gesek juga dipengaruhi gaya normal. Gaya normal adalah gaya yang diberikan bidang pada benda. Arah gaya normal selalu tegak lurus bidang. Pada bidang datar, besarnya gaya normal sama dengan gaya berat benda.

#### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan eksperimen ini, diharapkan kalian mampu:

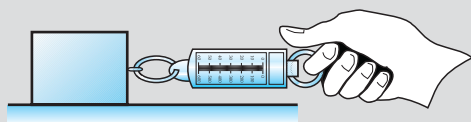
1. Menjelaskan hubungan gaya gesek statis dengan gaya normal.
2. Menghitung besar koefisien gesekan statis.
3. Menentukan besar gaya gesek statis.

#### C. Alat dan Bahan

1. Papan kayu yang permukaannya dihaluskan atau diampelas.
2. Balok kayu kasar (5 buah).
3. Ampelas.
4. Minyak goreng atau oli.
5. Neraca pegas.
6. Neraca O Haus atau neraca tiga lengan.

#### D. Langkah Kerja

1. Berilah tanda pada setiap balok dengan huruf A, B, C, D, dan E.
2. Haluskan dua buah sisi dari balok A dengan menggunakan ampelas.
3. Timbanglah massa setiap balok dan catat hasilnya.
4. Letakkan balok A dengan permukaan yang kasar berada pada papan. Dengan menggunakan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , hitunglah gaya normal balok A dengan persamaan  $N = m g$ .
5. Kaitkan ujung neraca pegas dengan balok A, sedang ujung lainnya ditarik. Perhatikan gambar.



6. Tariklah neraca pegas secara perlahan. Perhatikan dan catatlah penunjukan skala neraca pegas saat balok tepat akan bergerak. Skala neraca pegas tersebut menunjukkan besar gaya gesek statis ( $f_s$ ) maksimum.
7. Ulangi langkah nomor 4 sampai nomor 6 dengan menambahkan balok lainnya secara bertahap dari penambahan balok B sampai balok E.
8. Ulangi langkah nomor 7 dengan membalik permukaan balok A, sehingga permukaan yang halus berada di bawah dan bersinggungan dengan papan.
9. Ulangi langkah nomor 8 dengan menambahkan minyak goreng atau oli pada permukaan papan.
10. Catatlah hasil percobaan kalian pada tabel berikut.

No	Balok	Massa Total (kg)	Gaya Normal (N)	Gaya Gesek (N)
1. Permukaan A kasar.	A			
	A + B			
	A + B + C			
	A + B + C + D			
	A + B + C + D + E			

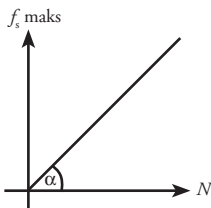


2. Permukaan A halus	A A + B A + B + C A + B + C + D A + B + C + D + E			
3. Papan diberi minyak/oli	A A + B A + B + C A + B + C + D A + B + C + D + E			

#### E. Pembahasan

1. Apakah yang dimaksud dengan gaya normal?
2. Dengan melihat hasil eksperimen kalian pada tabel, bandingkan besar gaya gesekan statis pada nomor 1, nomor 2, dan nomor 3.
3. Buatlah grafik fungsi gaya gesekan statis maksimum terhadap gaya normal untuk setiap percobaan.
4. Hitunglah koefisien gesekan statis antara balok kayu dengan papan pada setiap percobaan berdasarkan grafik yang kalian peroleh.
5. Manakah percobaan yang menunjukkan nilai koefisien gesekan terkecil? Apakah artinya?
6. Bagaimanakah hubungan antara tingkat kekasaran permukaan balok dan papan dengan besar gaya gesek?
7. Apa yang dapat kalian simpulkan dari eksperimen ini?

Tulislah laporan hasil eksperimen kalian dengan mengikuti aturan penulisan laporan ilmiah. Kemudian, kumpulkan kepada guru kalian.



**Gambar 5.8** Grafik fungsi  $f_s$  maks terhadap  $N$  berupa garis miring dengan gradien positif.

Bagaimanakah hasil *Eksperimen* kalian? Berdasarkan hasil eksperimen, kalian menemukan bahwa besarnya gaya gesek berbanding lurus dengan gaya normal. Dari hasil eksperimen, kalian mendapatkan grafik fungsi gaya gesek ( $f_s$  maks) terhadap gaya normal, seperti Gambar 5.8.

Berdasarkan grafik tersebut, gradien atau kemiringan grafik menunjukkan koefisien gesekan statis. Gradien grafik dapat kita cari dengan persamaan berikut.

$$\text{Gradien} = \tan \alpha$$

Gradien garis menunjukkan  $\mu_s$ , sehingga:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

$$\mu_s = \frac{f_s \text{ maks}}{N}$$

Atau dapat dituliskan :

$$f_s \text{ maks} = \mu_s N$$

Keterangan:  $f_s$  maks = gaya gesek statis maksimum (N)

$\mu_s$  = koefisien gaya gesek statis

$N$  = gaya normal (N)

Untuk mengetahui penggunaan persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah buku bermassa 300 g diletakkan di atas meja. Jika buku diberi gaya luar sebesar 0,5 N dan koefisien gesekan statis antara buku dengan permukaan meja 0,2; berapakah gaya gesek statis maksimum yang terjadi antara buku dengan permukaan meja, dan apakah buku dapat bergerak? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

**Penyelesaian :**

**Diketahui:**  $m = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg}$

$$F = 0,5$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_s = 0,2$$

**Ditanyakan:**  $f_s$  maks

**Jawab:**

Untuk mencari gaya gesek statis, kita dapat menggunakan persamaan:

$$f_s \text{ maks} = \mu_s N$$

$$= \mu_s m g$$

$$= 0,2 \times 0,3 \times 10$$

$$= 0,6 \text{ N}$$

Jadi, besarnya  $f_s$  maks adalah 0,6 N. Karena  $f_s \text{ maks} > F$ , maka buku tidak bergerak atau diam.

### b. Gaya Gesek Kinetis

Ketika kalian menendang bola di atas tanah, bola akan menggelinding dengan kecepatan tertentu. Tetapi, semakin lama kecepatan bola semakin berkurang dan akhirnya berhenti. Bola dapat bergerak diakibatkan gaya dari tendangan. Namun, saat sedang bergerak, ada gaya yang menghambat gerak bola dan mengurangi kecepatannya. Gaya yang menyebabkan kecepatan bola semakin berkurang disebut **gaya gesek kinetis**. Jadi, **gaya gesek kinetis adalah gaya gesek yang bekerja pada benda yang bergerak**.

Kalian ingin tahu lebih banyak tentang gaya gesek kinetis? Coba kalian kerjakan *Eureka* di bawah ini.

## Eureka

Bersama dengan anggota kelompok kalian yang lain, buatlah suatu percobaan yang dapat menjelaskan pengertian gaya gesek kinetis. Kalian bisa menggunakan bahan dan alat yang telah kalian gunakan pada eksperimen tentang gaya gesek statis. Buatlah percobaan sedemikian rupa sehingga dapat menjelaskan hubungan gaya normal dengan gaya gesek kinetis. Kemudian, cari pula koefisien gesekan kinetis dari hasil eksperimen kalian.

Tuliskan laporan hasil kerja kelompok kalian dengan mengikuti aturan penulisan laporan yang benar. Kemudian, kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

Sama seperti gaya gesek statis, besar gaya gesek kinetis juga bergantung pada gaya normal dan tingkat kekasaran permukaan benda dan bidang yang bersinggungan (koefisien gesekan). Koefisien gesekan pada benda yang bergerak disebut **koefisien gesekan kinetis** yang disimbolkan dengan  $\mu_k$ . Hubungan antara gaya gesek, koefisien gesekan kinetis, dan gaya normal diberikan dalam persamaan berikut.

$$f_k = \mu_k N$$

**Keterangan:**  $f_k$  = gaya gesek kinetik (N)  
 $\mu_k$  = koefisien gesekan kinetik  
 $N$  = gaya normal (N)

Berdasarkan hasil eksperimen yang kalian lakukan, koefisien gesekan statis lebih besar dari koefisien gesekan kinetik. Tabel 5.1 berikut, memperlihatkan nilai koefisien gesekan statis dan koefisien gesekan kinetik dari pelbagai bidang yang bersentuhan.

**Tabel 5.1 Koefisien Gesekan Permukaan Beberapa Benda**

Permukaan	$f_s$	$f_k$
Persendian lengan manusia	0,01	0,01
Es pada es	0,10	0,03
Logam pada logam yang sudah dilumasi	0,15	0,07
Kayu pada kayu	0,40	0,20
Seng pada besi tuang	0,85	0,21
Baja pada baja	0,74	0,57
Karet pada beton kering	1,00	0,80

*Sears & Zemansky, hal 37*

Jika gaya  $F$  bekerja pada suatu benda maka ada tiga kemungkinan, yaitu benda diam, benda tepat akan bergerak, dan benda bergerak dengan percepatan konstan.

- Benda akan diam jika  $F < f_s$  maks.
- Benda tepat akan bergerak jika  $F = f_s$  maks =  $\mu_s N$ .
- Benda bergerak dengan percepatan konstan, jika  $F - f_k = m a$ .

Untuk membantu memahami uraian tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seorang siswa mendorong balok kayu yang beratnya 40 N di atas lantai. Koefisien gesekan statik antara balok dengan lantai ( $\mu_s$ ) adalah 0,5 dan koefisien gesek kinetik ( $\mu_k$ ) 0,3. Tentukan:

- besar gaya yang diberikan siswa tersebut agar balok tepat akan bergerak.
- gaya gesek balok dengan lantai pada saat balok diam.
- gaya yang diberikan siswa, jika balok bergerak dengan percepatan  $2,5 \text{ m/s}^2$  dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ .

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$w = 40 \text{ N}$$

$$\mu_s = 0,5$$

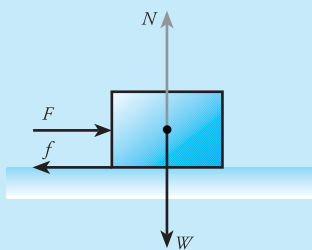
$$\mu_k = 0,3$$

**Ditanyakan:**

- $F$  agar benda tepat akan bergerak.
- $f_s$  dan  $f_k$ .
- $F$  jika  $a = 0,5 \text{ m/s}^2$ .

**Jawab:**

Gaya-gaya yang bekerja pada balok tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Gaya normal sama dengan berat balok.

$$N = w = 40 \text{ N}$$

- a. Agar balok tepat akan bergerak maka:

$$\begin{aligned} F &= f_s \text{ maks} = \mu_s N \\ &= (0,5) \times (40) \\ &= 20 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya yang harus diberikan agar balok tepat akan bergerak adalah 20 N.

- b. Pada saat balok diam, gaya gesek yang

bekerja adalah gaya gesek statis, yaitu sebesar 20 N.

- c. Pada saat bergerak, gaya gesek yang bekerja adalah gaya gesek kinetis.

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k N \\ &= 0,3 \times 40 \\ &= 12 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan demikian, gaya total yang bekerja pada balok.

$$\begin{aligned} F - f_k &= m a \\ F &= m a + f_k \\ &= (4 \times 2,5) + 12 \\ &= 22 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya yang diberikan siswa pada balok adalah 22 N.

## 2. Keuntungan dan Kerugian Gaya Gesek

Gaya gesek dapat dijumpai pada kegiatan sehari-hari. Berjalan, menulis, bermain bola, dan pelbagai aktivitas lain yang kita lakukan tidak terlepas dari gaya gesek. Gaya gesek dapat menguntungkan dan juga dapat merugikan. Gaya gesek apakah yang dapat menguntungkan dan merugikan?

### a. Gaya Gesek yang Menguntungkan

Beberapa contoh gaya gesek yang menguntungkan dapat kita jumpai pada kejadian-kejadian berikut.

1. Gesekan kaki dengan jalan menyebabkan kita dapat berjalan. Kita lebih mudah berjalan di tanah dengan gaya gesek yang besar dari pada berjalan di jalan yang licin dengan gaya gesek kecil.
2. Ban kendaraan (sepeda, sepeda motor, mobil, dan sebagainya) dibuat beralur untuk memperbesar gaya gesek ban dengan jalan. Jika ban kendaraan halus, kemungkinan kecelakaan akan lebih mudah terjadi.
3. Gesekan udara dimanfaatkan oleh penerjun payung. Dengan menggunakan parasut, penerjun dapat sampai di bumi dengan selamat.
4. Dalam balap mobil, badan mobil balap dibuat aerodinamis. Dengan badan mobil yang aerodinamis, gesekan dengan udara menjadi sangat kecil sehingga mobil dapat melaju dengan kecepatan penuh. Bentuk aerodinamis ini juga digunakan pada kereta api supercepat yang dapat melaju dengan kecepatan 261,8 km/jam. Selain itu, pesawat juga menggunakan bentuk



Gambar 5.10 Ban kendaraan dibuat beralur untuk memperbesar gaya gesek ban dengan jalan.



Gambar 5.11 Gesekan udara dimanfaatkan pada olahraga terjun payung.



**Gambar 5.12** Bentuk aerodinamis digunakan untuk memperkecil gesekan udara.

aerodinamis. Pesawat Concorde bahkan dapat terbang dengan kecepatan 2.150 km/jam.

5. Gaya gesek juga dimanfaatkan pada sistem pengereman kendaraan.

### b. Gaya Gesek yang Merugikan

Pada beberapa peristiwa, gaya gesek juga dapat merugikan kita. Beberapa contoh gaya gesek yang merugikan antara lain,

1. Gesekan antara ban dengan aspal mengakibatkan ban menjadi aus. Ban yang aus ini dapat menyebabkan kendaraan tergelincir.
2. Gesekan antara bagian-bagian mesin kendaraan mengakibatkan mesin menjadi aus. Untuk mengurangi gesekan pada mesin kita dapat menggunakan pelumas.
3. Gesekan kendaraan yang bergerak dengan udara memperlambat kelajuannya.

Dapatkah kalian memberikan contoh gaya gesek yang menguntungkan dan gaya gesek yang merugikan lainnya?

## D Aplikasi Hukum–hukum Newton

### Teropong

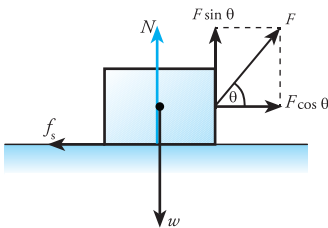
Pada bab gerak lurus, Kalian telah mempelajari GLBB. Pada GLBB berlaku persamaan-persamaan berikut.

$$v_t = v_0 \pm a t$$

$$s_t = v_0 t \pm \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 \pm 2 a s$$

Pada persamaan tersebut, tanda negatif (–) dipakai jika  $a$  adalah perlambatan.



**Gambar 5.13** Diagram gaya pada benda di bidang datar.

Pada subbab ini kita akan mempelajari penerapan Hukum Newton untuk menjelaskan gerak benda pada bidang datar, gerak pada bidang miring, gerak melingkar, dan gaya pada sistem benda. Mari kita bahas satu persatu gerak benda tersebut.

### 1. Gerak Benda pada Bidang Datar

Pada subbab hukum Newton, kalian telah mengetahui hubungan antara gaya dan percepatan. Karena gaya berhubungan dengan percepatan, maka gaya juga berhubungan dengan besaran-besaran yang telah kalian pelajari pada bab gerak lurus. Untuk itu, sebelum kalian mempelajari subbab ini, ada baiknya jika kalian membuka kembali materi pada bab gerak lurus.

Kita ambil contoh, sebuah balok yang terletak pada sebuah bidang ditarik dengan tali yang membentuk sudut  $\theta$  terhadap tanah. Gaya yang bekerja pada balok searah dengan arah tali. Ini berarti, gaya pada balok juga membentuk sudut  $\theta$ . Di bab II, kalian telah mempelajari cara penguraian vektor pada bidang koordinat. Karena gaya merupakan besaran vektor, maka gaya pada balok dapat diuraikan pada bidang koordinat, yaitu pada sumbu  $x$  dan pada sumbu  $y$ . Dengan demikian, diagram gaya yang bekerja pada balok tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.13.

Sekarang, mari kita analisis kemungkinan gerak balok. Ada tiga kemungkinan yang dialami balok akibat gaya yang diberikan. Kemungkinan tersebut adalah balok diam, balok bergerak lurus atau sejajar bidang, dan balok bergerak ke atas atau vertikal.

**a. Balok diam**

Jika balok diam, maka berlaku Hukum I Newton, yaitu  $\Sigma F = 0$ .

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 0, \text{ berarti } \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma F_x &= 0 \quad \text{dan} \quad F \sin \theta + N - w = 0 \quad (\text{ingat, } N = w) \\ F \cos \theta - f_s &= 0 \end{aligned}$$

$$f_s = F \cos \theta$$

$$F \sin \theta = 0$$

**b. Balok bergerak horisontal atau sejajar bidang**

Jika balok bergerak horisontal, maka gaya yang bekerja adalah gaya yang sejajar bidang yaitu  $\Sigma F_x$ . Sementara itu,  $\Sigma F_y = 0$ .

Berdasarkan hukum II Newton, berlaku persamaan,

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= m a \\ F \cos \theta - f_k &= m a \end{aligned}$$

Jika  $f_k$  diabaikan, maka :

$$F \cos \theta = m a$$

**c. Balok bergerak ke vertikal ke atas**

Jika balok bergerak ke atas, maka gaya yang bekerja adalah  $\Sigma F_y$ . Sementara itu,  $\Sigma F_x = 0$ . Berdasarkan Hukum II Newton

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= m a \\ F \sin \theta + N - w &= m a \end{aligned}$$

$$F \sin \theta = m a$$

Untuk membantu kalian memahami penerapan Hukum Newton pada gerak benda pada bidang datar, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Seorang anak menarik mobil-mobilan bermassa 1 kg yang diikat dengan tali. Tali tersebut membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap tanah. Jika anak menarik dengan gaya 0,1 N dari keadaan diam, dan mobil bergerak mendatar di tanah, berapakah kecepatan benda setelah 5 sekon?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 1 \text{ kg}$

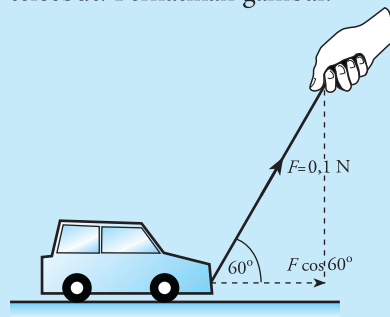
$\theta = 60^\circ$

$F = 0,1 \text{ N}$

**Ditanyakan:**  $v$  pada saat  $t = 5 \text{ sekon}$ .

**Jawab:**

Untuk menyelesaikan soal ini, terlebih dahulu kita menggambar diagram gaya yang bekerja pada mobil-mobilan tersebut. Perhatikan gambar.



## Tips & Trik

Dalam menyelesaikan soal-soal, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menggambar diagram gaya yang bekerja. Setelah itu, kita tentukan arah gaya dengan menggunakan perjanjian berikut.

1. Gaya-gaya yang searah dengan gerak benda diberi tanda positif.
2. Gaya-gaya yang berlawanan dengan arah gerak benda diberi tanda negatif.
3. Gaya gesek mempunyai arah selalu berlawanan dengan arah gerak benda. Sehingga, gaya gesek selalu bertanda negatif.

Dari gambar tersebut, gaya yang menyebabkan mobil-mobilan bergerak adalah gaya yang sejajar dengan tanah yaitu  $F_x$ .

$$\begin{aligned} F_x &= F \cos \theta \\ &= 0,1 \cos 60^\circ \\ &= (0,1) \times \left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 0,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya  $F_x$  inilah yang menyebabkan percepatan, sehingga  $a$  dapat dicari dengan persamaan,

$$\begin{aligned} F_x &= m a \\ a &= \frac{F}{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,05}{1} \\ &= 0,05 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Untuk mencari  $v$  pada saat  $t = 5$  sekon, kita bisa menggunakan persamaan  $v_t = v_0 + at$ , dengan maka  $v_0 = 0$ , dan  $t = 5$  s, sehingga,

$$\begin{aligned} v_t &= a t \\ &= 0,05 \times 5 \\ &= 0,25 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan mobil-mobilan setelah 5 sekon adalah 0,25 m/s.

Dengan memperhatikan dua contoh tersebut, apakah kalian sudah bisa menyelesaikan persamaan gerak benda pada bidang datar yang melibatkan gaya gesek? Nah, sebagai ajang latihan kalian dalam menganalisis gerak benda dengan gaya gesek, kerjakan Ekspedisi di bawah ini.

## Ekspedisi

**Dengan mencari dari pelbagai buku fisika, analisislah kejadian-kejadian berikut.**

1. Apakah tujuan bagian depan kendaraan, misalnya pesawat, kereta api, kapal laut, dan mobil dibuat agak lancip (berbentuk aerodinamis)?
2. Seseorang sedang berjalan dengan menarik karung berisi sampah bermassa 30 kg. Tali yang digunakan untuk menarik diletakkan pada pundaknya sehingga membentuk sudut  $45^\circ$ . Orang tersebut berjalan dengan

kecepatan konstan, dan koefisien gesekan statis yang terjadi antara tanah dengan karung adalah 0,6.

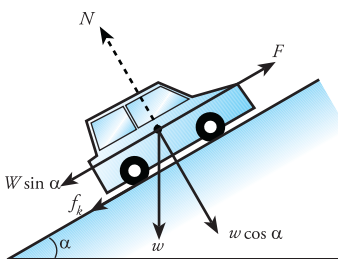
- a. Gambarkan gaya-gaya yang bekerja pada karung sampah tersebut.
- b. Tentukan besarnya gaya yang digunakan orang tersebut untuk menarik karung.

Kerjakan soal tersebut pada buku tugas kalian, kemudian kumpulkan kepada guru.

## 2. Gerak Benda pada Bidang Miring

Untuk memahami gerak benda di bidang miring, kita ambil contoh sebuah mobil bermassa  $m$  yang melaju di tanjakan dengan kemiringan  $\alpha$ . Jika sopir mobil tidak menekan pedal gas lebih dalam lagi, maka kecepatan mobil semakin berkurang dan bahkan dapat berhenti di tanjakan. Jika roda mobil tidak diberi ganjal, maka mobil akan berjalan mundur. Dari kejadian ini, tentunya ada gaya yang menarik mobil ke belakang. Gaya apakah yang menarik mobil ke belakang? Perhatikan diagram gaya pada mobil pada Gambar 5.14.

Berdasarkan gambar tersebut, gaya yang melawan gerak mobil adalah gaya gesekan kinetik ( $f_k$ ) dan gaya  $w \sin \alpha$  atau  $mg \sin \alpha$ . Menurut Hukum II Newton, pada mobil berlaku persamaan gaya sebagai berikut.



**Gambar 5.14** Diagram gaya yang bekerja pada mobil yang bergerak naik di jalan menanjak.



$$\begin{aligned}\sum F_x &= m a \\ F - w \sin \alpha - f_k &= m a \\ F - mg \sin \alpha - f_k &= m a\end{aligned}$$

Bagaimanakah cara menghitung gaya gesek pada bidang miring? Kalian tahu bahwa besarnya gaya gesek merupakan hasil kali antara koefisien gesekan dengan gaya normal. Yang perlu diingat adalah bahwa **gaya normal adalah gaya tegak lurus bidang yang diberikan bidang kepada benda**.

Kalau kita perhatikan, arah gerak mobil selalu sejajar dengan bidang. Jadi, pada arah tegak lurus bidang (arah sumbu  $y$ ) resultan gayanya sama dengan nol, dan berlaku persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N - w \cos \alpha &= 0\end{aligned}$$

Sehingga besarnya gaya normal yang diberikan bidang terhadap benda adalah:

$$N = w \cos \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha$$

Dengan mensubstitusikan persamaan tersebut ke dalam persamaan gaya gesek, maka besarnya gaya gesek, baik gaya gesek statis maupun gaya gesek kinetis, dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}f_s &= \mu_s m g \cos \alpha \\ f_k &= \mu_k m g \cos \alpha\end{aligned}$$

**Keterangan:**

$\mu_s$  = koefisien gesekan statis

$\mu_k$  = koefisien gesekan kinetis

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\alpha$  = sudut kemiringan bidang

Gerak mobil yang sedang bergerak naik di tanjakan tersebut merupakan salah satu contoh kemungkinan gerak benda pada bidang miring. Masih ada beberapa kemungkinan gerak benda pada bidang miring. Misalnya, benda bergerak turun, benda diam, dan benda bergerak naik. Bagaimanakah Hukum Newton menjelaskan kemungkinan-kemungkinan tersebut? Mari kita bahas satu persatu kemungkinan-kemungkinan gerak benda pada bidang miring tersebut.

#### a. Benda Bergerak Turun

Coba perhatikan sekali lagi Gambar 5.14. Jika mobil bergerak turun, maka persamaan yang berlaku adalah:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= m a \\ w \sin \alpha - f_k &= m a \\ mg \sin \alpha - f_k &= m a\end{aligned}$$

Gambar-gambar yang dipahat orang-orang Mesir menunjukkan penggunaan bidang miring untuk membangun piramida. Pada saat itu, mereka belum mempunyai kereta beroda atau alat-alat besi, tetapi mampu memindahkan balok batu kapur raksasa. Beberapa balok batu kapur tersebut mempunyai massa sampai 15 ton. Batu-batu tersebut ditarik dari tambang batu kapur oleh para budak dalam jumlah besar. Balok-balok tersebut kemudian dinaikkan menggunakan bidang miring yang dibuat dari lumpur, sampai piramida bertambah tinggi. Setelah piramida selesai, bidang miring tersebut diturunkan dan batu-batunya di poles.

Wiese, Jim, 2004, hlm.37



Bagaimanakah persamaan geraknya, jika mobil diberi tambahan gaya  $F$  ke bawah? Karena  $F$  searah dengan gerak benda, maka berlaku persamaan berikut.

$$F + mg \sin \alpha - f_k = ma$$

**Keterangan:**  $F$  = gaya luar yang diberikan pada benda (N)

$a$  = percepatan gerak benda ( $\text{m/s}^2$ )

Untuk menambah pemahaman kalian, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Seorang anak bermassa 25 kg meluncur di sebuah papan luncur. Kemiringan papan luncur tersebut adalah  $45^\circ$ . Jika teman anak tersebut mendorongnya dengan gaya 50 N, dan koefisien gesekan kinetis antara papan dengan badan anak 0,3, dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- gaya normal anak,
- besar gaya gesek kinetis,
- percepatan yang dialami anak.

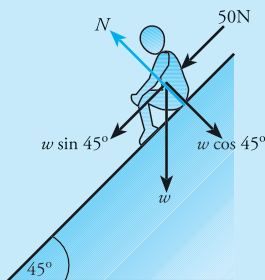
**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 25 \text{ kg}$   
 $\alpha = 45^\circ$   
 $g = 10 \text{ m/s}^2$   
 $F = 50 \text{ N}$   
 $\mu_k = 0,3$

**Ditanyakan:** a.  $N$   
 b.  $f_k$   
 c.  $a$

**Jawab:**

Sebelum menjawab pertanyaan, terlebih dahulu kita menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada si anak. Gaya-gaya tersebut dapat kalian lihat pada gambar berikut.



- gaya normal (N) dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} N &= m g \cos \alpha \\ &= 25 \times 10 \times (\cos 45^\circ) \\ &= 250 \times \left(\frac{1}{2}\sqrt{2}\right) \\ &= 125\sqrt{2} \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya normal yang diberikan bidang kepada anak adalah  $125\sqrt{2} \text{ N}$ .

- Gaya gesek kinetis dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k N \\ &= (0,3 \times 125\sqrt{2}) \\ &= 37,5\sqrt{2} \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, gaya gesek kinetis antara anak dengan papan luncur adalah  $37,5\sqrt{2} \text{ N}$ .

- Percepatan anak dapat dicari dengan persamaan :

$$\begin{aligned} F + mg \sin \alpha - f_k &= ma \\ 50 + (25 \times 10 \times \sin 45^\circ) - 37,5\sqrt{2} &= 25a \\ 50 + (250 \times \frac{1}{2}\sqrt{2}) - 37,5\sqrt{2} &= 25a \\ 50 + 87,5\sqrt{2} &= 25a \\ a &= \frac{50 + 87,5\sqrt{2}}{25} \\ &= (2 + 3,5\sqrt{2}) \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

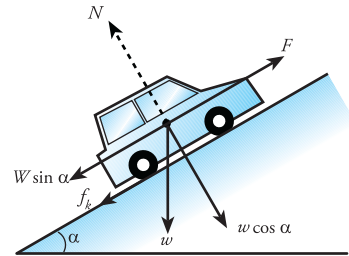
Jadi, pecepatan yang dialami anak tersebut adalah  $(2 + 3,5\sqrt{2}) \text{ m/s}^2$

## b. Benda Bergerak Naik

Agar benda yang berada di bidang miring bergerak naik, harus ada gaya yang menarik atau mendorongnya ke atas. Gaya-gaya yang bekerja pada benda yang bergerak naik pada bidang miring tampak pada Gambar 5.15.

Berdasarkan gambar tersebut, untuk benda yang bergerak naik di bidang miring, berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= ma \\ F - w \sin \alpha - f_k &= ma \\ F - mg \sin \alpha - f_k &= ma\end{aligned}$$



Gambar 5.15 Diagram gaya pada benda yang bergerak naik di bidang miring

Bagaimanakah penerapan persamaan tersebut? Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah peti kayu bermassa 60 kg didorong oleh seseorang dengan gaya 100 N ke atas sebuah truk menggunakan papan yang disandarkan membentuk bidang miring. Ketinggian bak truk tempat papan bersandar adalah 2 m, dan panjang papan yang digunakan adalah 2,5 m. Jika peti bergerak ke atas dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ , dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:

- gaya normal bidang terhadap balok,
- gaya gesek kinetis,
- koefisien gesekan kinetis.

### Penyelesaian:

Diketahui:  $m = 60 \text{ kg}$

$F = 800 \text{ N}$

$a = 2 \text{ m/s}$

tinggi bak ( $y$ ) = 2 m

panjang papan ( $r$ ) = 2,5 m

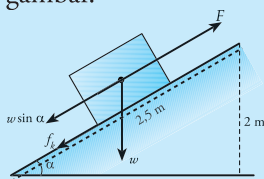
Ditanyakan: a.  $N$

b.  $f_k$

c.  $\mu_k$

### Jawab:

Ketika peti berada di atas papan, diagram gaya-gaya yang bekerja dapat kalian lihat pada gambar.



- Besar gaya normal dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}N &= w \cos \alpha \\ &= mg \cos \alpha \\ &= 60 \times 10 \times \frac{1,5}{2,5} \\ &= 360 \text{ N}\end{aligned}$$

Jadi, besarnya gaya normal bidang terhadap peti adalah 360 N.

- Gaya gesek kinetis antara peti dengan papan dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}F - mg \sin \alpha - f_k &= ma \\ f_k &= F - mg \sin \alpha - ma \\ &= 800 - (60 \times 10 \times \frac{2}{2,5}) - (60 \times 2) \\ &= 800 - 480 - 120 \\ &= 200 \text{ N}\end{aligned}$$

Jadi, gaya gesek antara peti dengan papan adalah 200 N.

- Koefisien gesekan kinetis dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}f_k &= \mu_k N \\ \mu_k &= \frac{f_k}{N} \\ &= \frac{200}{360} = \frac{5}{9} = 0,56\end{aligned}$$

Jadi, koefisien gesekan antara papan dengan peti adalah 0,56.

## Tips & Trik

Untuk menentukan gaya gesek yang digunakan ( $f_s$  atau  $f_k$ ) kita tinggal melihat apakah benda bergerak atau diam.

1. Jika benda **bergerak**, kita menggunakan **gaya gesek kinetis** ( $f_k$ ).
2. Jika benda **diam**, kita menggunakan **gaya gesek statis** ( $f_s$ ).

### c. Benda Diam atau Bergerak Lurus Beraturan

Bagaimanakah caranya agar benda yang berada pada bidang miring diam atau bergerak lurus beraturan? Untuk melakukannya, kita harus memberikan gaya yang sama besar dengan gaya ke bawah ( $mg \sin \alpha$ ). Ada dua cara untuk membuat benda agar diam atau bergerak lurus beraturan. Pertama, kita bisa memperbesar gaya gesek dengan cara membuat bidang menjadi sangat kasar. Gaya gesek minimum untuk membuat benda berhenti atau bergerak lurus beraturan adalah sama dengan gaya ke bawah yaitu  $mg \sin \alpha$ . Cara kedua adalah dengan menarik atau mendorong benda ke atas dengan gaya yang sama dengan gaya ke bawah ( $mg \sin \alpha + f_k$ ). Bagaimanakah penjelasan dari kedua cara tersebut? Untuk menjelaskannya, kita perlu menggunakan Hukum I Newton.

Berdasarkan Hukum I Newton, pada benda diam atau bergerak lurus beraturan berlaku persamaan:

$$\sum F = 0$$

Untuk cara pertama, bidang dibuat sangat kasar sehingga besarnya gaya gesek antara benda dengan bidang memenuhi persamaan,

$$\sum F_x = 0$$

$$W \sin \alpha - f = 0$$

$$mg \sin \alpha - f = 0$$

Sehingga besarnya gaya gesek yang dibutuhkan agar benda diam di bidang miring adalah

$$f = mg \sin \alpha$$

Cara kedua yaitu benda ditarik atau didorong ke atas. Diagram gaya yang bekerja dapat kalian lihat pada Gambar 5.16. Berdasarkan gambar tersebut, persamaan geraknya dapat ditulis sebagai berikut.

$$\sum F_x = 0$$

$$F - mg \sin \alpha - f = 0$$

$$F = mg \sin \alpha + f$$

Untuk menambah wawasan kalian, perhatikan contoh berikut.

### Contoh

Sebuah mobil sedang bergerak turun di turunan dengan kemiringan  $30^\circ$ . Ketika masih di atas, kecepatan mobil 50 km/jam. Koefisien gesekan ban dengan jalan adalah 0,2. Jika massa mobil 6 ton dan gravitasi di tempat

itu  $10 \text{ m/s}^2$ , tentukan gaya pengereman yang harus diberikan agar mobil sampai di bawah dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan semula.

Penyelesaian :

Diketahui:  $\alpha = 30^\circ$

$$v_0 = 50 \text{ km/jam}$$

$$\mu_k = 0,2$$

$$m = 6 \text{ ton}$$

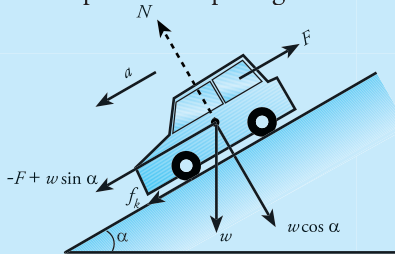
$$= 6.000 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Ditanyakan:  $F$  agar  $v$  konstan

Jawab:

Diagram gaya yang bekerja pada mobil dapat kalian perhatikan pada gambar.



Agar kecepatan mobil tetap, maka gaya pengereman yang harus diberikan adalah sebagai berikut.

$$-F + mg \sin \alpha - f = 0$$

$$F = mg \sin \alpha - f$$

$$= mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

$$= (6.000 \times 10 \times \sin 30^\circ) -$$

$$(0,2 \times 6.000 \times 10 \times \cos 30^\circ)$$

$$= 30.000 - 6.000\sqrt{3}$$

$$= 30.000 - 10.200$$

$$= 19.800 \text{ N}$$

Jadi, gaya pengereman yang harus diberikan agar mobil bergerak dengan kecepatan tetap sebesar 19.800 N

#### d. Koefisien Gesekan pada Benda di Bidang Miring Tanpa Gaya Luar

Bagaimanakah persamaan gerak benda yang diam di bidang miring tanpa adanya gaya dari luar? Pada benda yang diam di bidang miring yang tidak mendapat gaya dari luar akan berlaku persamaan:

$$mg \sin \alpha - f = 0$$

$$f = mg \sin \alpha$$

Jika benda diam, gaya gesek yang bekerja adalah gaya gesek statis, sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$f_s = mg \sin \alpha$$

$$\mu_s N = mg \sin \alpha$$

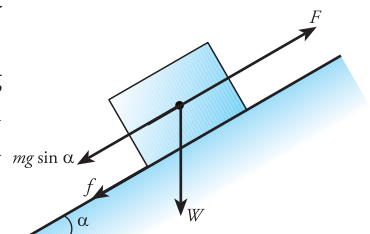
$$\mu_s mg \cos \alpha = mg \sin \alpha$$

Dari persamaan tersebut, koefisien gesekan statis dapat dicari dengan persamaan:

$$\mu_s = \frac{mg \sin \alpha}{mg \cos \alpha}$$

$$\mu_s = \tan \alpha$$

Sementara jika benda bergerak ke bawah, gaya gesek yang bekerja adalah gaya gesek kinetis, sehingga berlaku persamaan:



Gambar 5.16 Benda ditarik ke atas dengan  $F = (mg \sin \alpha + f)$  menyebabkan benda diam atau bergerak lurus beraturan.

$$mg \sin \alpha - f_k = m a$$

$$f_k = mg \sin \alpha - m a$$

$$\mu_k N = mg \sin \alpha - m a$$

$$\mu_k mg \cos \alpha = mg \sin \alpha - m a$$

Berdasarkan persamaan tersebut, koefisien gesekan kinetis dirumuskan sebagai:

$$\mu_k = \frac{g \sin \alpha - a}{g \cos \alpha}$$

Atau bisa dituliskan:

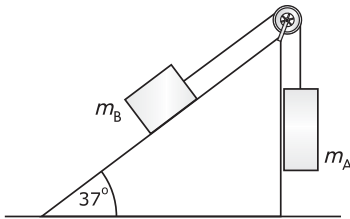
$$\mu_k = \tan \alpha - \frac{a}{g \cos \alpha}$$

Untuk mengetahui sejauh mana kalian memahami materi tersebut, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Balok kayu yang beratnya 250 N diletakkan pada bidang miring dengan sudut kemiringan  $37^\circ$ . Tentukan gaya gesek statis balok kayu tersebut.
2. Seseorang menggunakan papan sepanjang 7,5 m untuk memindahkan benda bermassa 50 kg dari tanah ke ketinggian 4,5 m. Salah satu ujung papan diletakkan pada ketinggian 4,5 m dan ujung satunya di tanah. Kemudian, orang tersebut menarik benda dari atas dengan gaya 400 N. Pada saat bergerak, koefisien gesekan antara papan dengan benda adalah 0,25. Dengan menggunakan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - a. gambar gaya-gaya yang bekerja pada benda,
  - b. besar gaya normal bidang terhadap benda,
  - c. besar gaya gesek antara benda dan papan,
  - d. percepatan yang dialami benda.
3. Sebuah sepeda motor melaju di tanjakan yang mempunyai kemiringan  $30^\circ$ . Panjang tanjakan tersebut adalah 10 m. Di tanjakan, walaupun pengendara tidak mengerem atau mengurangi kecepatannya, sepeda motor mengalami perlambatan  $2 \text{ m/s}^2$ . Jika massa sepeda motor dan pengendaranya 200 kg, berapakah koefisien gesekan antara ban sepeda motor dengan jalan?
4. Sebuah bola menggelinding tanpa kecepatan awal pada sebuah bidang miring sepanjang 1 meter. Bidang miring tersebut mempunyai kemiringan  $60^\circ$ . Ketika sampai di bawah, bola tersebut naik bidang miring ke-dua dengan kemiringan  $45^\circ$  sepanjang 1,5 m. Jika gaya gesek bidang miring pertama dan kedua sama besar, dapatkah bola melewati bidang miring ke-dua?

5.



Dua buah benda dihubungkan dengan tali dan katrol seperti gambar. Gesekan tali dengan katrol dan massa tali diabaikan. Pada gambar tersebut,  $m_A = 5 \text{ kg}$ ,  $m_B = 4 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 37^\circ$  ( $\sin 37^\circ = 0,6$ ),  $\mu_s = 0,5$ , dan  $\mu_k = 0,2$ . Tentukan:

- gambar gaya-gaya yang bekerja pada kedua benda,
- arah gerak sistem,
- percepatan gerak,
- tegangan tali yang digunakan.

### 3. Gaya pada Gerak Melingkar

Di bab gerak melingkar, kalian telah menguasai konsep percepatan sentripetal. Jika suatu benda bergerak dengan percepatan tertentu, dapat dipastikan pada benda tersebut bekerja sebuah gaya atau lebih. Benda yang melakukan gerak melingkar mempunyai percepatan sentripetal. Percepatan sentripetal ini ditimbulkan oleh gaya yang arahnya sama dengan arah percepatan sentripetal. Arah percepatan sentripetal selalu menuju pusat lingkaran. Dengan demikian, gaya yang menyebabkannya juga menuju ke pusat lingkaran. Gaya yang arahnya menuju pusat lingkaran disebut **gaya sentripetal**.

Sebuah benda dengan massa  $m$  yang bergerak melingkar berubah beraturan, mempunyai percepatan sentripetal. Berdasarkan Hukum II Newton:

$$\sum F = ma$$

Sehingga besarnya gaya sentripetal dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_s = ma_s$$

Dengan  $a_s = \frac{v^2}{r}$ , maka:

$$F_s = \frac{mv^2}{r}$$

dimana  $v = \omega r$ , sehingga

$$F_s = m\omega^2 r$$

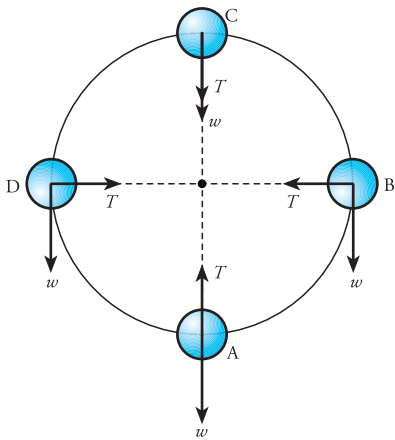
**Keterangan:**  $F_s$  = gaya sentripetal (N)  
 $v$  = kecepatan linear (m/s)  
 $r$  = jejari (m)  
 $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)



Gambar 5.17 Benda yang diikat dengan tali dan diputar, melakukan gerak melingkar.

Bagaimanakah kita menggambar percepatan dan gaya sentripetal ini? Perhatikan Gambar 5.17.

Gambar 5.17, menunjukkan benda yang diputar secara vertikal. Diagram gaya-gaya yang bekerja pada benda dalam pelbagai kedudukan dapat kalian



**Gambar 5.18** Diagram gaya pada gerak melingkar dalam pelbagai posisi.

## Tips & Trik

Untuk memudahkan kalian dalam menganalisis gaya pada gerak melingkar, kalian bisa menggunakan ketentuan berikut.

1. Gaya yang mengarah ke pusat diberi tanda positif.
2. Gaya yang menjauhi pusat diberi tanda negatif.



**Gambar 5.19** Benda melakukan gerak melingkar horizontal.

lihat pada gambar 5.18. Berdasarkan gambar tersebut, kita dapat mencari tegangan tali yang digunakan untuk mengikat benda. Karena benda diputar secara vertikal, maka berat benda akan memengaruhi besar tegangan tali ketika benda di posisi A, B, C, dan D.

Secara umum, untuk mencari besar tegangan tali, kita hanya perlu meninjau gaya yang segaris kerja dengan tegangan tali. Dengan menggunakan persamaan  $\sum F = F_s$ , kita bisa mencari besar tegangan tali ketika benda berada di posisi A, B, C, D, atau di manapun benda berada.

Berdasarkan Gambar 6.18, pada posisi A atau di titik terendah berlaku persamaan:

$$\sum F = F_s$$

$$T - w = m \frac{v_A^2}{r}$$

$$T = m \frac{v_A^2}{r} + mg$$

Pada posisi B dan posisi D, berlaku persamaan:

$$T = m \frac{v^2}{r}$$

(ingat, untuk posisi ini, gaya berat benda tidak segaris kerja dengan tegangan tali)

Pada posisi C, atau titik tertinggi berlaku persamaan:

$$T + w = m \frac{v_C^2}{r}$$

$$T = m \frac{v_C^2}{r} - mg$$

Laju minimum di titik tertinggi dicapai jika tegangan tali sama dengan nol ( $T = 0$ ). Jadi, laju minimum di titik tertinggi adalah:

$$v_{\min} = \sqrt{gr}$$

**Keterangan:**  $v_{\min}$  = laju minimum di titik tertinggi (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$r$  = jejari lingkaran (m)

Tegangan tali pada gerak benda yang melingkar vertikal dipengaruhi gaya berat. Bagaimanakah jika benda melingkar secara horisontal? Jika benda melakukan gerak melingkar secara horisontal, gaya berat benda tidak akan memengaruhi besar tegangan tali. Jadi, untuk gerak melingkar horisontal, tegangan tali setiap saat sama dengan besar gaya sentripetalnya.

Konsep gaya sentripetal dapat kita gunakan untuk menganalisis berbagai gerak, antara lain, gerak mobil di tikungan, gerak orang yang naik roller coaster, gerak bandul ayunan, dan lain sebagainya.

Untuk menambah wawasan kalian tentang gaya sentripetal, kerjakan *Eureka* berikut.

Bersama dengan kelompok belajar kalian, rancanglah dan buatlah sebuah alat percobaan sederhana yang dapat menunjukkan adanya gaya sentripetal pada gerak melingkar. Jika merasa kesulitan, kalian dapat mencari dari pelbagai sumber, baik internet, buku, atau majalah. Kerjakan tugas ini selama 1 – 2 minggu. Setelah itu, presentasikan hasil penemuan kelompok kalian di depan kelompok lainnya.

Untuk mengetahui penerapan persamaan-persamaan gaya sentripetal, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Sebuah batu bermassa 100 g diikat dengan tali sepanjang 50 cm. Batu tersebut kemudian diputar vertikal dengan kecepatan linear 5 m/s. Berapakah tegangan tali pada saat benda berada di titik terendah dan titik tertinggi?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 100 \text{ g}$   
 $= 0,1 \text{ kg}$   
 $r = 50 \text{ cm}$   
 $= 0,5 \text{ m}$   
 $v = 5 \text{ m/s}$

**Ditanyakan:** a.  $T$  di titik terendah.  
 b.  $T$  di titik tertinggi.

**Jawab:**

Untuk menyelesaikan soal ini, perhatikan diagram gaya pada Gambar 5.18.

a. Berdasarkan gambar, di titik terendah berlaku persamaan:  
 $T - w = F_s$

$$\begin{aligned} T &= m \frac{v^2}{r} + mg \\ &= (0,1 \times \frac{5^2}{0,5}) + (0,1 \times 10) \\ &= 5 + 1 \\ &= 6 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi, tegangan tali pada saat benda di titik terendah adalah 6 N.

b. Di titik tertinggi berlaku:

$$\begin{aligned} T + w &= F_s \\ T &= m \frac{v^2}{r} - mg \\ &= (0,1 \times \frac{5^2}{0,5}) - (0,1 \times 10) \\ &= 5 - 1 \\ &= 4 \text{ N} \end{aligned}$$

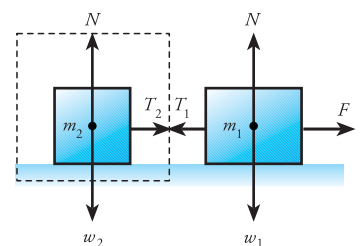
Jadi, tegangan tali pada saat benda di titik teratas adalah 4 N.

## 4. Gaya pada Sistem Benda

Pada uraian di awal bab ini, kalian telah mengetahui bahwa katrol dapat meringankan pekerjaan kita. Di uraian tersebut, Buoy yang bermassa 4,2 ton dapat dengan mudah dipindahkan dengan menggunakan katrol. Untuk mengetahui cara katrol bekerja, pelajirlah materi berikut.

### a. Benda dihubungkan dengan tali

Terkadang kita sering menjumpai orang yang menarik dua atau lebih benda. Untuk memudahkan menariknya, benda-benda tersebut dihubungkan dengan tali. Bagaimanakah persamaan gaya pada sistem benda yang dihubungkan dengan tali? Perhatikan Gambar 5.20.



**Gambar 5.20** Gaya-gaya pada dua benda yang dihubungkan dengan tali.



Berdasarkan Hukum II Newton, pada sistem benda tersebut berlaku persamaan berikut.

$$\sum F = ma$$

Sekarang kita tinjau benda 1. Gaya yang bekerja pada benda 1 adalah gaya tarik  $F$  dan  $T$  yang berlawanan, sehingga persamaan yang berlaku adalah:

$$F - T = m_1 a_1$$

Sementara untuk benda 2, gaya yang bekerja adalah gaya  $T$ . Jadi, persamaan yang berlaku adalah:

$$T = m_2 a_2$$

Jika tali yang digunakan tidak bertambah panjang ketika ditarik, maka kedua benda akan bergerak dengan percepatan sama ( $a_1 = a_2 = a$ ). Jika kedua persamaan tersebut ditambahkan, kita mendapatkan persamaan:

$$F - T + T = (m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

#### b. Benda dihubungkan dengan katrol

Perhatikan gambar sistem benda yang dihubungkan dengan katrol pada Gambar 5.21. Kita tinjau benda A. Jika gaya gesek pada sistem dianggap nol, maka pada benda ini bekerja gaya berat benda ( $w_1$ ) dan gaya tegangan tali ( $T$ ), sehingga persamaan yang berlaku adalah:

$$w - T_1 = m_1 a$$

$$m_1 g - T_1 = m_1 a$$

$$T_1 = m_1 (g - a)$$

Sementara pada benda B, gaya yang bekerja adalah gaya  $T_2$ , sehingga untuk benda 2 berlaku persamaan:

$$T_2 = m_2 a$$

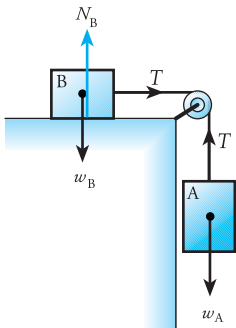
Karena tali yang menghubungkan kedua benda sama, maka tegangan talinya juga sama ( $T_1 = T_2 = T$ ). Dari dua persamaan tersebut, kita mendapatkan:

$$m_1 (g - a) = m_2 a$$

$$(m_1 + m_2) a = m_1 g$$

$$a = \frac{m_1}{m_1 + m_2} g$$

Untuk mengetahui penerapan persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.



Gambar 5.21 Sistem benda yang dihubungkan dengan katrol.

## Contoh

- Sebuah lampu bermassa 100 g digantung di antara dua tiang menggunakan tali. Jarak kedua tiang adalah 5 m. Tali tersebut membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap tiang pertama, dan  $60^\circ$  pada tiang kedua. Jika lampu dalam keadaan seimbang, berapakah tegangan kedua tali?

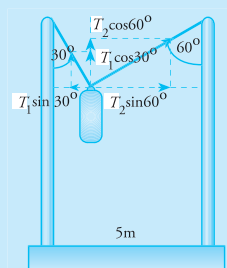
**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 100 \text{ g}$   
 $= 0,1 \text{ kg}$   
 $l = 5 \text{ m}$   
 $\theta_1 = 30^\circ$   
 $\theta_2 = 60^\circ$

**Ditanyakan:**  $T_1$  dan  $T_2$

**Jawab:**

Gaya-gaya pada lampu dapat digambarkan sebagai berikut.



Dalam keadaan seimbang  $\Sigma F = 0$ , berarti  $\Sigma F_x = 0$  dan  $\Sigma F_y = 0$ .

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_1 \sin \theta_1 - T_2 \sin \theta_2 = 0$$

$$T_1 \sin \theta_1 = T_2 \sin \theta_2$$

$$T_1 \sin 30^\circ = T_2 \sin 60^\circ$$

$$T_1 \left( \frac{1}{2} \right) = T_2 \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right)$$

$$T_1 = T_2 \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T_1 \cos \theta_1 + T_2 \cos \theta_2 - w = 0$$

$$T_1 \cos 30^\circ + T_2 \cos 60^\circ - (0,1 \times 10) = 0$$

$$(T_2 \sqrt{3} \times \frac{1}{2} \sqrt{3}) + T_2 \left( \frac{1}{2} \right) - 1 = 0$$

$$2T_2 - 1 = 0$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \text{ N} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dari persamaan (1) dan (2), didapatkan besar  $T_1$

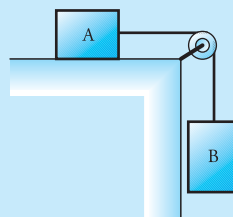
$$T_1 = T_2 \sqrt{3}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{3} \text{ N.}$$

Jadi, tegangan tali pertama adalah  $\frac{1}{2} \sqrt{3}$

N, dan tegangan tali kedua  $\frac{1}{2} \text{ N}$ .

2.



Dua buah benda dihubungkan dengan katrol. Benda A dengan massa 500 g berada pada bidang datar dan dihubungkan dengan benda B bermassa 600 g yang tergantung bebas. Perhatikan gambar. Dari sistem benda tersebut, jika percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , berapakah percepatan sistem dan tegangan talinya?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$m_A = 500 \text{ g}$$

$$= 0,5 \text{ kg}$$

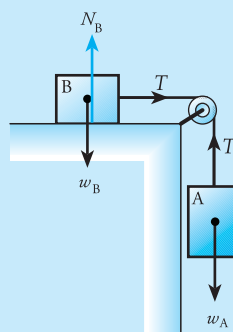
$$m_B = 600 \text{ g}$$

$$= 0,6 \text{ kg}$$

**Ditanyakan:**  $T$  dan  $a$

**Jawab:**

Diagram gaya pada sistem benda tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Tinjau gaya pada benda A. Pada benda ini berlaku persamaan,

$$T = m_A a$$

$$T = 0,5 a$$

Tinjau gaya pada benda B. Pada benda B berlaku persamaan,

$$w_B - T = m a$$

$$mg - T = m a$$

$$(0,5 \times 10) - 0,5 a = 0,5 a$$

$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

jadi percepatan kedua benda adalah  $5 \text{ m/s}^2$ .

Besar tegangan talinya adalah:

$$T = 0,5 a$$

$$= 0,5 \times 5$$

$$= 2,5 \text{ N}$$

Jadi, besar tegangan talinya adalah 2,5 N.

Nah, untuk menambah pemahaman kalian tentang gerak sistem benda, kerjakan soal pada *Ekspedisi* berikut.

## **E**kspedisi

**Dengan mencari dari pelbagai buku fisika, kerjakan soal-soal berikut.**

- Tiga buah balok dihubungkan dengan tali satu sama lain. Massa ketiga balok adalah  $m_1$ ,  $m_2$ , dan  $m_3$  dipasang berurutan. Kemudian, ketiga balok tersebut ditarik dengan gaya  $FN$ .
  - Gambarkan diagram gaya pada sistem benda tersebut.
  - Tuliskan persamaan percepatan gerak sistem tersebut.
  - Tuliskan persamaan tegangan tali yang menghubungkan  $m_1$  dengan  $m_2$  dan persamaan tegangan tali yang menghubungkan  $m_2$  dengan  $m_3$ .

- Untuk menaikkan seember semen, seorang buruh bangunan yang berada di bawah, menggunakan katrol yang dipasang pada ketinggian  $h$  meter. Massa semen  $m$  kg.

- Gambarkan diagram gaya yang bekerja pada sistem tersebut.
- Tuliskan persamaan percepatan ember semen, jika buruh tersebut menarik dengan gaya  $FN$ .
- Tentukan kecepatan ember dalam waktu  $t$ .

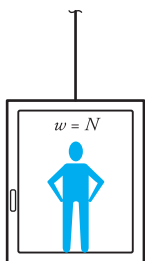
Tuliskan jawaban kalian dan kumpulkan kepada guru.

## 5. Berat benda dalam lift

Ketika berada di dalam lift yang bergerak, apa yang kalian rasakan? Pada saat lift bergerak naik, badan kita terasa semakin berat. Namun sebaliknya, pada saat lift bergerak turun, badan kita terasa lebih ringan. Bagaimanakah Hukum Newton menjelaskan peristiwa ini? Untuk membahas gerak benda di dalam lift, kita hanya meninjau komponen gaya vertikal. Bisakah kalian memberikan alasannya?

### a. Lift diam

Di dalam lift, gaya yang kita tinjau adalah gaya yang vertikal sesuai dengan arah gerak lift yang juga vertikal. Di dalam lift yang diam berlaku Hukum Newton I, dan dituliskan dalam bentuk persamaan:



**Gambar 5.22** Di dalam lift yang diam, gaya normal sama dengan gaya berat.

$$\begin{aligned}\sum F &= 0 \\ w - N &= 0 \\ w &= N\end{aligned}$$

Karena gaya normal sama dengan berat, kita tidak merasakan perubahan berat badan.

**b. Lift bergerak ke atas atau ke bawah dengan kecepatan konstan**

Berdasarkan Hukum I Newton, benda yang bergerak dengan kecepatan tetap, resultan gayanya sama dengan nol. Karena tidak ada gaya lain yang memengaruhi berat, maka kita tidak merasakan perubahan berat badan. Jadi berat badan kita di dalam lift yang bergerak dengan kecepatan konstan, sama dengan berat badan kita ketika di luar lift. Pada keadaan ini juga berlaku  $N = w$ .

**c. Lift dipercepat ke atas**

Apakah yang kita rasakan saat kita berada di dalam lift yang dipercepat ke atas? Saat lift bergerak ke atas dengan percepatan  $a$ , lantai lift juga memberikan percepatan yang sama terhadap kita. Karena lift mempunyai percepatan, pada kasus ini berlaku Hukum II Newton.

$$\begin{aligned}\sum F &= ma \\ N - w &= ma \\ N - mg &= ma \\ N &= m(a + g)\end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut  $N > w$ , akibatnya badan kita terasa bertambah berat.

**d. Lift dipercepat ke bawah**

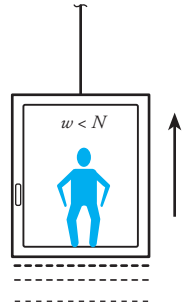
Pada saat kita berada di dalam lift yang dipercepat ke atas, kita merasakan badan kita bertambah berat. Bagaimanakah jika kita berada di dalam lift yang dipercepat ke bawah? Pada saat lift dipercepat ke bawah, berlaku Hukum II Newton.

$$\begin{aligned}\sum F &= ma \\ N + w &= ma \\ N + mg &= ma \\ N &= m(a - g)\end{aligned}$$

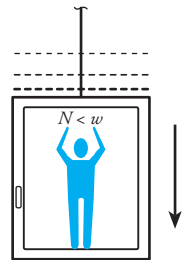
Persamaan tersebut menunjukkan  $N < w$ . Akibatnya, badan kita terasa menjadi lebih ringan.

**e. Tali lift putus**

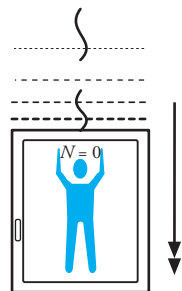
Apakah yang akan kita rasakan saat berada di dalam lift, dan tiba-tiba talinya putus? (Tentu kita tidak ingin ini terjadi, tapi ini hanya permasalahan). Kita akan merasakan “seolah-olah” badan kita



**Gambar 5.23** Di dalam lift yang bergerak dipercepat ke atas, gaya normal lebih besar dari gaya berat.



**Gambar 5.24** Di dalam lift yang bergerak dipercepat ke bawah, gaya normal lebih kecil dari gaya berat.



**Gambar 5.25** Di dalam lift yang talinya putus, gaya normal sama dengan nol.

melayang dan tidak mempunyai berat. Bagaimanakah Hukum Newton menjelaskan peristiwa ini? Jika tali lift putus, berarti lift dan orang di dalamnya mengalami gerak jatuh bebas. Pada gerak jatuh bebas, benda mengalami percepatan sebesar percepatan gravitasi. Berdasarkan Hukum II Newton:

$$\begin{aligned}\sum F &= m a \\ N + w &= m a \\ N + mg &= m a \\ N &= m(a - g)\end{aligned}$$

Pada gerak jatuh bebas  $a = g$ , sehingga:

$$N = 0$$

Karena  $N = 0$ , maka kita merasa “seolah-olah” kehilangan berat badan kita.

Agar kalian lebih paham, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Sebuah benda dengan massa 1 kg berada di dalam sebuah lift yang bergerak ke atas dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , berapakah pertambahan berat benda di dalam lift?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:** lift bergerak ke atas

$$\begin{aligned}m &= 1 \text{ kg} \\ a &= 1 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

**Ditanyakan:** pertambahan berat benda di dalam lift.

**Jawab:**

Berat benda di dalam lift ditunjukkan oleh gaya normal. Pada gerak lift ke atas, berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}N &= m(g + a) \\ &= 1(10 + 1) \\ &= 11 \text{ N}\end{aligned}$$

Pertambahan berat  $= N - w$

$$\begin{aligned}&= N - mg \\ &= 11 - (1 \times 10) \\ &= 1 \text{ N}\end{aligned}$$

Jadi, penambahan berat benda di dalam lift adalah 1 N.

2. Seorang siswa sedang membuktikan konsep fisika yang mengatakan bahwa di dalam lift, berat sebuah benda akan berubah. Sebelum masuk ke lift, siswa tersebut menimbang berat badannya sendiri yaitu 500 N. Ketika lift sedang bergerak turun, siswa tersebut menimbang badannya lagi. Ternyata beratnya berkurang menjadi 480 N. Berapakah percepatan lift tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $w_{\text{luar}} = 500 \text{ N}$

$$w_{\text{dalam}} = N = 400 \text{ N}$$

Lift bergerak ke bawah.

**Ditanyakan:**  $a$

**Jawab:**

Untuk lift yang bergerak ke bawah berlaku:

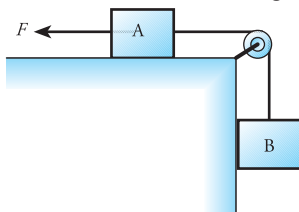
$$\begin{aligned}w - N &= m a \\ 500 - 400 &= 50 a \\ a &= 2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Jadi percepatan lift tersebut adalah  $2 \text{ m/s}^2$ .

Untuk menguji kemampuan Kalian dalam menyelesaikan soal yang berkaitan dengan aplikasi Hukum Newton, kerjakan soal-soal pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

- Sebuah truk gandeng bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. 10 sekond kemudian, kecepatan truk menjadi 90 km/jam. Jika massa bak truk depan 8 ton, dan massa bak truk belakang 7 ton, tentukan:
  - gambar diagram gaya,
  - gaya yang diperlukan untuk mempercepat truk tersebut,
  - tegangan sambungan truk tersebut.
- Seorang siswa SMA bermassa 60 kg bermain di papan luncur. Papan luncur tersebut mempunyai kemiringan  $45^\circ$ . Siswa meluncur tanpa kecepatan awal dan sampai di bawah dalam waktu 10 sekond. Jika percepatan gravitasi di tempat itu  $10 \text{ m/s}^2$ , dan gaya gesek diabaikan, tentukan:
  - gambar diagram gaya,
  - percepatan yang dialami siswa,
  - panjang papan luncur tersebut,
  - kecepatan siswa ketika sampai di bawah.
- Aminah menimba air dari dalam sumur dengan menggunakan katrol. Jika massa air yang diambil 3 kg dan percepatan naiknya timba 2 m/s, berapakah besar gaya yang dilakukan Aminah?
- Seorang pilot melakukan atraksi dengan pesawatnya. Ia melakukan gerak melingkar secara vertikal. Massa pilot tersebut 70 kg. Ia melakukan satu putaran penuh dalam waktu 5 sekond. Jika jejari lintasan gerak 50 m, tentukan:
  - besar kecepatan sudut dan kecepatan linear,
  - besar percepatan sentripetal,
  - besar gaya sentripetal,
  - berat pilot di titik terendah dan berat pilot di titik tertinggi.
 Petunjuk: gerakan pesawat sama dengan gerakan pilot.
- Seorang petugas *cleaning service* sebuah hotel membawa barang lewat lift. Sebelum masuk lift, barang tersebut mempunyai massa 25 kg. Hitunglah berat barang tersebut jika:
  - lift belum bergerak,
  - lift bergerak ke atas dengan kecepatan tetap 3 m/s,
  - lift bergerak ke atas dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ ,
  - lift bergerak ke bawah dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ .
- Dua buah benda dihubungkan seperti gambar berikut.



Massa A dan B adalah 2 kg dan 4 kg. Benda A ditarik dengan gaya ( $F_A$ ) 5 N. Koefisien gesekan kinetis antara permukaan

bidang dengan benda A 0,3. Sementara itu, koefisien gesekan permukaan bidang dengan benda B 0,2 N, dan gesekan tali dengan katrol diabaikan.

- Gambarkan gaya yang bekerja pada sistem benda tersebut.
- Ke arah manakah sistem tersebut bergerak?
- Berapakah percepatan gerak sistem tersebut?
- Hitunglah besar tegangan tali yang digunakan.

## Inti Sari

- Hukum I Newton menyatakan bahwa jika resultan gaya yang bekerja pada benda nol, berarti benda tersebut bergerak dengan kelajuan konstan atau diam. Secara matematis, hukum Newton dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Sigma F = 0 \begin{cases} v = 0, \text{ benda diam.} \\ v = \text{konstan, benda melakukan GLB.} \end{cases}$$

- Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan berbanding lurus dengan besar gaya yang bekerja, dan berbanding terbalik dengan massanya. Secara matematis, Hukum II Newton dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Sigma F = m a$$

- Hukum III Newton menyatakan bahwa jika suatu gaya bekerja pada benda, maka benda tersebut akan memberikan gaya yang sama besar tetapi arahnya berlawanan. Secara matematis, Hukum III Newton dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}}$$

- Benda yang bergerak melingkar mempunyai gaya sentripetal, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_s = m a_s$$

$$F_s = \frac{mv^2}{r}$$

dimana  $v = \omega r$ , sehingga:

$$F = m\omega^2 r$$

## Telaah Istilah

**Gaya gesek** Gaya yang muncul ketika dua buah benda bersinggungan yang arahnya berlawanan dengan arah gerak salah satu benda

**Gaya gesek kinetik** Gaya gesek yang timbul ketika benda sudah bergerak

**Gaya gesek statik** Gaya gesek yang timbul sesaat sebelum benda bergerak

**Gaya normal** Gaya yang tegak lurus dengan permukaan sentuh benda

**Gaya sentripetal** Gaya yang arahnya menuju pusat lingkaran

**Inersia/kelembaman** Sifat benda yang berusaha mempertahankan kedudukannya

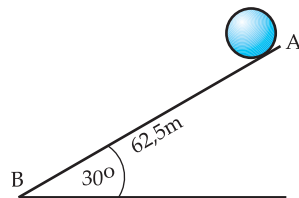
**Kecepatan angular** Perubahan sudut yang ditempuh dalam selang waktu tertentu

**Kecepatan linear** Kecepatan yang arahnya menyinggung lingkaran/lintasan lengkung

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

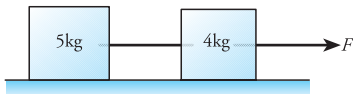
1. Berdasarkan Hukum I Newton, jika resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda adalah nol, kemungkinan benda tersebut akan . . . .
  - a. diam
  - b. bergerak lurus beraturan
  - c. bergerak lurus berubah beraturan
  - d. diam atau bergerak lurus beraturan
  - e. diam atau bergerak lurus berubah beraturan
2. Seekor ikan bermassa 1 kg tergantung pada tali kail. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , besar tegangan tali adalah . . . .
  - a. 5 N
  - b. 10 N
  - c. 15 N
  - d. 20 N
  - e. 25 N
3. Sebuah bola dipengaruhi gaya tetap sebesar 5 N. Jika massa bola 0,5 kg, percepatan yang dialami bola adalah . . . .
  - a.  $10 \text{ m/s}^2$
  - b.  $25 \text{ m/s}^2$
  - c.  $5 \text{ m/s}^2$
  - d.  $0,25 \text{ m/s}^2$
  - e.  $1 \text{ m/s}^2$
4. Seorang nelayan berhasil memancing ikan bermassa 2 kg. Nelayan tersebut menggunakan senar pancing yang akan putus jika tegangannya melebihi 6 N. Jika ikan menggantung di udara dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , percepatan maksimum untuk menarik ikan agar senar tidak putus adalah . . . .
  - a.  $20 \text{ m/s}^2$
  - b.  $14 \text{ m/s}^2$
  - c.  $7 \text{ m/s}^2$
  - d.  $4 \text{ m/s}^2$
  - e.  $3 \text{ m/s}^2$
5. Sebuah batu semula diam di dasar sumur. Kemudian, batu diangkat menggunakan tambang dengan gaya 30 N. Setelah 2 sekon, batu mencapai ketinggian 10 m. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , massa batu tersebut adalah . . . .

- a. 1 kg
  - b. 2 kg
  - c. 3 kg
  - d. 5 kg
  - e. 6 kg
6. Sebuah mobil-mobilan bermassa 0,5 kg ditarik dengan gaya 2 N. Arah tarikan membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap tanah. Jika mobil-mobilan semula diam, jarak yang ditempuh dalam waktu 5 sekon adalah . . . .
  - a. 10 m
  - b.  $10\sqrt{3} \text{ m}$
  - c. 25 m
  - d.  $25\sqrt{3} \text{ m}$
  - e. 50 m
7. Pada bidang miring, gaya normal . . . .
  - a. sama dengan berat benda
  - b. lebih besar dari berat benda
  - c. lebih kecil dari berat benda
  - d. bisa lebih kecil atau lebih besar dari berat benda
  - e. bisa lebih kecil, sama, atau lebih besar dari berat benda
- 8.



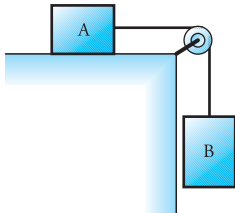
- Bola bermassa 1 kg menggelinding di atas sebuah bidang miring. Sudut kemiringan benda adalah  $30^\circ$ . Jika panjang bidang miring tersebut 62,5 m, dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , kecepatan bola pada saat sampai di tanah adalah . . . .
- a.  $50\sqrt{5} \text{ m/s}$
    - b.  $50 \text{ m/s}$
    - c.  $25\sqrt{5} \text{ m/s}$
    - d.  $25 \text{ m/s}$
    - e.  $6,25 \text{ m/s}$
  9. Dua buah balok bermassa 4 kg dan 5 kg terletak pada bidang datar. Kedua balok dihubungkan dengan tali dan ditarik dengan gaya 180 N. Perhatikan gambar berikut ini.





Jika gaya gesek diabaikan besar tegangan tali antara kedua balok adalah . . .

- a. 20 N
  - b. 40 N
  - c. 80 N
  - d. 90 N
  - e. 100 N
10. Sebuah katrol digunakan untuk mengangkat mobil yang terperosok ke dalam jurang. Mobil tersebut ditarik dengan gaya 21.100 N. Jika massa mobil yang jatuh adalah 2.000 kg dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , besar percepatan naiknya mobil adalah . . .
- a.  $44 \text{ m/s}^2$
  - b.  $40 \text{ m/s}^2$
  - c.  $5,5 \text{ m/s}^2$
  - d.  $4,4 \text{ m/s}^2$
  - e.  $0,55 \text{ m/s}^2$
11. Massa seorang astronot di bumi 60 kg. Jika gaya gravitasi bulan  $1/6$  gaya gravitasi bumi, maka berat astronot di bulan adalah . . .
- a. 10 N
  - b. 50 N
  - c. 100 N
  - d. 300 N
  - e. 500 N
- 12.



Dua buah balok dihubungkan dengan katrol seperti pada gambar. Massa balok A yaitu 4 kg, dan massa balok B 6 kg. Percepatan gerak balok A dan tegangan tali yang terjadi sebesar . . .

- a.  $6 \text{ m/s}^2$  dan 60 N
- b.  $6 \text{ m/s}^2$  dan 40 N
- c.  $6 \text{ m/s}^2$  dan 24 N
- d.  $4 \text{ m/s}^2$  dan 40 N
- e.  $4 \text{ m/s}^2$  dan 24 N

13. Sebuah mobil bermassa 4 ton melaju dengan kecepatan tetap 72 km/jam. Tiba-tiba mobil direm, sehingga berhenti dalam waktu 2 sekon. Jika koefisien gesekan roda dengan jalan 0,5 dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , besarnya gaya pengereman yang dilakukan adalah . . .
- a. 124.000 N
  - b. 60.000 N
  - c. 40.000 N
  - d. 20.000 N
  - e. 10.000 N
14. Sebuah peti kayu bermassa 100 kg akan dinaikkan ke atas truk. Untuk memudahkan kerja tersebut, dipasang papan miring dengan sudut  $30^\circ$ . Peti kayu tersebut didorong tiga orang, sehingga bergerak dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ . Jika koefisien gesekan peti dengan papan adalah  $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ , maka besarnya gaya dorong ketiga orang tersebut adalah . . .
- a. 1.000 N
  - b. 1.250 N
  - c. 1.350 N
  - d. 1.500 N
  - e. 1.750 N
15. Seseorang bermassa 60 kg berada di lift yang bergerak. Ketika di dalam lift beratnya menjadi 720 N. Besar percepatan dan arah gerak lift adalah . . .
- a.  $22 \text{ m/s}^2$  ke bawah
  - b.  $22 \text{ m/s}^2$  ke atas
  - c.  $12 \text{ m/s}^2$  ke atas
  - d.  $2 \text{ m/s}^2$  ke bawah
  - e.  $2 \text{ m/s}^2$  ke atas
16. Seorang astronot berada di dalam pesawat ulang-alik yang bergerak ke atas. Percepatan gravitasi di dalam pesawat adalah  $15 \text{ m/s}^2$ . Jika berat astronot di bumi adalah 650 N dan  $g_{\text{bumi}} = 10 \text{ m/s}^2$ , maka berat astronot di dalam pesawat menjadi . . .
- a. 1.875 N
  - b. 1.300 N
  - c. 975 N
  - d. 325 N
  - e. 225 N

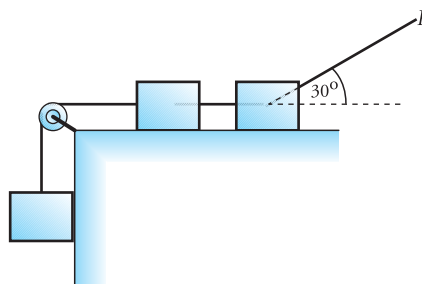
17. Balok kayu bermassa 10 kg didorong dengan gaya 60 N sehingga bergerak. Kayu berada di atas lantai dengan  $\mu_s = 0,45$  dan  $\mu_k = 0,30$ . Percepatan yang dialami benda adalah . . . .
  - a.  $4,5 \text{ m/s}^2$
  - b.  $3 \text{ m/s}^2$
  - c.  $2,5 \text{ m/s}^2$
  - d.  $1,5 \text{ m/s}^2$
  - e.  $0,5 \text{ m/s}^2$
18. Sebuah balok besi dengan massa 5 kg berada di lantai dengan  $\mu_s = 0,5$  dan  $\mu_k = 0,4$ . Besi tersebut ditarik dengan gaya 5 N yang membentuk sudut  $37^\circ$  terhadap lantai. Jika  $\tan 37^\circ = 8/6$ , dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Besarnya gaya gesek antara besi dan lantai pada saat besi tepat akan bergerak adalah . . . .
  - a. 5 N
  - b. 4 N
  - c. 3 N
  - d. 2,5 N
  - e. 2 N
19. Benda bermassa 5 kg yang semula diam, diberi gaya tetap sebesar 50 N. Jika koefisien gesek kinetik 0,2, waktu yang diperlukan benda untuk mencapai jarak 100 m adalah . . . .
  - a. 20 s
  - b.  $\sqrt{10}$  s
  - c. 8 s
  - d. 5 s
  - e.  $\sqrt{5}$  s
20. Sebuah truk bermassa 1,96 ton melaju di suatu tikungan dengan kecepatan 54 km/jam. Tikungan tersebut mempunyai jejari 98 m. Gaya sentripetal yang dialami truk tersebut adalah . . . .
  - a. 4.500 N
  - b. 3.500 N
  - c. 2.250 N
  - d. 1.125 N
  - e. 450 N

**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

1. Seseorang yang bergerak dengan kecepatan tertentu menuju atau menjauhi bumi akan mengalami perubahan gaya berat.

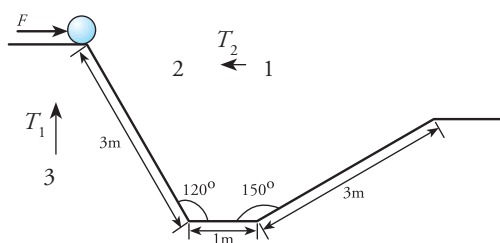
Bagaimanakah penjelasan atas pernyataan tersebut?

2. Mengapa jalan di tikungan dibuat miring? Jelaskan dengan konsep gaya sentripetal.
3. Seorang anak bermassa 30 kg meluncur pada sebuah papan luncur sepanjang 5 m dengan kemiringan  $30^\circ$ . Jika koefisien gesekan kinetik anak dengan papan adalah 0,1 dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan kecepatan anak ketika sampai di bawah.
4. Seorang pemain ski bermassa 60 kg, meluncur pada sebuah lereng dengan kemiringan  $60^\circ$  tanpa kecepatan awal. Jika diketahui koefisien gesekan salju dengan papan ski adalah 0,08, berapakah percepatan yang dialami orang tersebut?
5. Seseorang bermassa 75 kg melakukan terjun payung. Ia menggunakan parasut sebesar 5 kg. Orang tersebut turun dengan percepatan tetap  $2,5 \text{ m/s}^2$ .
  - a. Berapakah besar gaya gesek udara, jika parasut dan orang tersebut dianggap satu sistem?
  - b. Jika parasut mulai dibuka pada ketinggian 750 m dan kecepatan jatuh penerjun pada saat itu 10 m/s, berapakah waktu yang diperlukan untuk sampai di bumi?
6. Tiga buah peti bermassa sama dihubungkan dengan tali dan katrol. Massa setiap peti adalah 20 kg. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gaya yang menarik ketiga peti sebesar 100 N. Arah tarikan tersebut membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap lantai. Percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ .

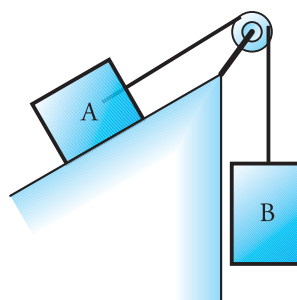
- Kemanakah peti bergerak?
  - Gambarkan diagram gaya pada sistem benda tersebut.
  - Hitunglah besar tegangan tali ( $T_1$  dan  $T_2$ ).
  - Dengan mengabaikan semua gaya gesek, hitunglah percepatan peti ( $m_3$ ).
7. Sebuah roket bermassa 1 ton meluncur meninggalkan bumi yang berjari-jari 6.370 km. Roket tersebut mengorbit pada ketinggian 200 km dari permukaan bumi (anggaplah orbit roket berupa lingkaran sempurna). Periode edar roket sama dengan periode rotasi bumi yaitu 24 jam.
- Berapakah besar kecepatan sudut dan kecepatan linear roket tersebut?
  - Hitunglah besar percepatan sentripetal yang dialami roket.
  - Berapakah besar gaya sentripetal yang dialami roket?
8. Perhatikan gambar berikut.



Bola bermassa 700 g didorong dengan gaya 7 N. Akibatnya, bola menggelinding pada bidang miring pertama. Setelah sampai di bawah, bola terus menggelinding

dan naik bidang miring kedua. Kedua bidang tersebut mempunyai panjang sama, yaitu 3 m. Jarak kedua bidang 1 m. Bisakah bola sampai di bagian atas bidang miring ke-dua? Jelaskan dengan analisis matematika.

- Seorang pemain ski bermassa 50 kg, meluncur pada sebuah lereng dengan kemiringan  $60^\circ$  tanpa kecepatan awal. Jika diketahui koefisien gesekan salju dengan papan ski adalah 0,06, berapakah percepatan yang dialami orang tersebut.
- Sebuah benda yang terletak pada bidang miring, dihubungkan dengan benda lain seperti gambar berikut.



Dari gambar tersebut diketahui massa benda A = 200 g, massa benda B = 500 g, dan percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$ . Jika koefisien gesekan bidang dengan benda A adalah 0,2, tentukan:

- gaya normal benda A,
- percepatan yang dialami benda A,
- tegangan tali yang digunakan.

# Latihan Ulangan Akhir Semester I

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat

- Besaran yang mempunyai satuan kgm/s adalah ....
  - energi
  - daya
  - gaya
  - percepatan
  - momentum
- Yang merupakan besaran pokok adalah ....
  - momentum
  - gaya
  - volume
  - massa
  - kecepatan
- Dimensi daya adalah ....
  - $MLT^{-3}$
  - $ML^2 T^{-1}$
  - $MLT^{-2}$
  - $ML^2 T^{-3}$
  - $ML^2 T^{-2}$
- Kelompok satuan berikut yang merupakan satuan pokok adalah ....
  - km/jam, gram, jam
  - $m^3$ ,  $m/s^2$ , ampere
  - $kg/m^3$ , kg, sekon
  - candela, kelvin, mol
  - newton, Nm, joule
- Perhatikan tabel berikut.

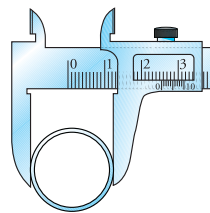
No	Besaran	Satuan (dalam SI)	Alat ukur
1	panjang	cm	mistar
2	massa	kilogram	neraca
3	waktu	jam	stopwacch
4	suhu	kelvin	termometer

Pernyataan yang benar mengenai besaran di atas adalah ....

- 1 dan 2
  - 1 dan 3
  - 2 dan 4
  - 1, 2, dan 3
  - 1, 2, 3, dan 4
- Seorang pekerja bangunan mengukur diameter besi. Ia memperoleh angka 0,50300 meter. Jumlah angka penting dari hasil pengukuran tersebut adalah ....

- 6
- 5
- 4
- 3
- 2

- Dari hasil pengukuran dengan jangka sorong, diketahui bahwa panjang alas segitiga sama kaki adalah 12,55 cm dan tinggi 3,50 cm. Luas segitiga tersebut adalah ...  $cm^2$ .
  - 21,9
  - 21,96
  - 21,963
  - 21,9625
  - 22,0
- Seorang siswa mengukur diameter cincinnya dengan menggunakan jangka sorong. Hasil pengukurannya ditunjukkan pada gambar berikut. Diameter cincin siswa tersebut adalah ....



- 2,50
- 2,53
- 2,56
- 2,59
- 2,69

- Jika diketahui massa suatu benda 7.620 gram dan volumenya  $910 cm^3$ , maka massa jenis benda tersebut adalah ...  $gram/cm^3$ .
  - 8,37
  - 8,373
  - 8,374
  - 8,3736
  - 8,4
- Yang merupakan kelompok besaran vektor adalah ....
  - perpindahan, impuls, dan volume
  - kecepatan, energi, dan gaya
  - momentum, gaya, dan volume
  - gaya, kecepatan, dan perpindahan
  - usaha, tekanan, dan percepatan
- Dua buah vektor yang saling berlawanan mempunyai besar 4 satuan dan 15 satuan. Selisih kedua vektor tersebut adalah .... satuan
  - 38
  - 20
  - 19
  - 11
  - 9

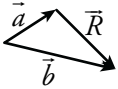
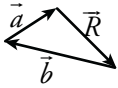
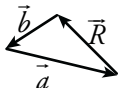
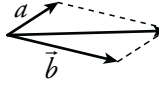
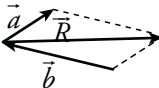
12. Dua buah vektor  $\vec{x}$  dan  $\vec{y}$  berimpit dan berlawanan arah. Resultan dari  $\vec{x} + \vec{y}$  adalah . . .

- $\sqrt{x^2 + y^2}$
- $\sqrt{x^2 - y^2}$
- $\sqrt{x^2 + 2xy + y^2}$
- $\sqrt{x^2 + 2xy + y}$
- $x - y$

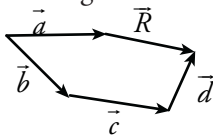
13. Jika diketahui  $\vec{A} = 6$  m ke utara dan  $\vec{B} = 4$  m ke barat, maka besar  $\vec{A} - 2\vec{B}$  adalah . . .

- 10 m ke arah timur laut
- 10 m ke arah barat laut
- 10 m ke arah utara
- 2 m ke arah selatan
- 2 m ke arah timur

14. Gambar di bawah ini menunjukkan resultan penjumlahan  $\vec{a} + \vec{b}$ . Gambar yang benar adalah . . .

- 
- 
- 
- 
- 

15. Perhatikan gambar berikut.



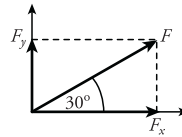
Vektor  $\vec{R}$  menunjukkan resultan dari operasi beberapa vektor. Operasi tersebut adalah . . .

- $\vec{a} - (\vec{b} + \vec{c} + \vec{d})$
- $\vec{a} - \vec{b} - (\vec{c} + \vec{d})$
- $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$
- $(\vec{a} - \vec{b}) + (\vec{c} + \vec{d})$
- $(\vec{b} + \vec{c} + \vec{d}) - \vec{a}$

16. Besaran yang diperoleh dari perkalian titik (*dot*) dua besaran vektor adalah . . .

- momentum dan gaya
- fluks magnetik dan momentum
- momentum dan usaha
- fluks listrik dan gaya
- usaha dan fluks listrik

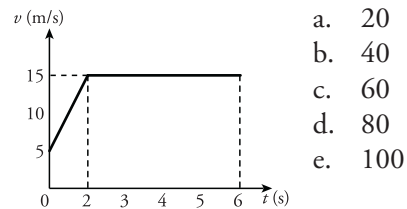
17. Perhatikan gambar berikut.



$F_x$  dan  $F_y$  adalah komponen vektor  $\vec{F}$  pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ . Apabila  $F_x$  besarnya 12 satuan, maka besar  $F_y$  adalah . . . satuan.

- 4
- $4\sqrt{3}$
- 6
- $6\sqrt{3}$
- $12\sqrt{3}$

18. Sebuah partikel bergerak sesuai dengan grafik  $v-t$  berikut. Jarak yang ditempuh partikel selama 6 sekon adalah . . . m.



- 20
- 40
- 60
- 80
- 100

19. Farhan mengemudikan mobilnya ke arah barat dan menempuh perjalanan sejauh 160 km selama 3,5 jam. Kemudian, dia berbelok ke arah timur dan mengemudikan mobilnya sejauh 70 km selama 1,5 jam. Laju rata-rata perjalanan Farhan adalah . . . km/jam.

- 23
- 26
- 35
- 46
- 48

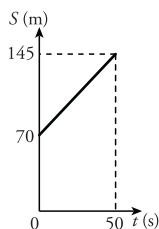
20. Sebuah partikel bergerak pada lintasan lurus yang dinyatakan dengan  $x(t) = 3t^2 - 8t + 8$ , dengan  $t$  dalam sekon dan  $x$  dalam meter. Kecepatan partikel saat  $t = 3$  sekon adalah . . . m/s.

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25

21. Akibat rotasi bumi, Maksu yang berada di Yogyakarta bermassa  $m$ , dan George yang berada di London bermassa  $M$  mempunyai kesamaan dalam hal . . .

- kecepatan linear
- laju linear
- gaya gravitasi bumi
- kecepatan anguler
- percepatan sentripetal

22. Perhatikan gambar berikut. Besar kecepatan rata-rata dari grafik keadaan seperti ditunjukkan pada gambar adalah . . . m/s.



- 1
- 1,5
- 2
- 2,5
- 3

23. Sebatang kapur dijatuhkan dari atas meja tanpa kecepatan awal. Setelah 0,3 sekon kapur sampai ke lantai. Kecepatan kapur saat tepat sampai di lantai adalah . . . m/s.

- 5
- 4
- 3
- 2
- 1

24. Sebuah bola kasti dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 15 m/s. Tinggi maksimum yang dapat dicapai bola kasti adalah . . . m.

- 9,29
- 11,25
- 22,5
- 25,5
- 27,25

25. Hubungan kecepatan dengan waktu dari sebuah benda bergerak dinyatakan  $v(t) = 4t^2 - 6t + 1$  dalam m/s. Percepatan 10 m/s<sup>2</sup> dicapai pada  $t = \dots$  s.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

26. Dalam gerak melingkar, lintasan yang berbentuk lingkaran disebut . . .

- garis lingkaran
- lintasan linear

- lintasan sudut
- lintasan anguler
- lintasan gerak melingkar beraturan

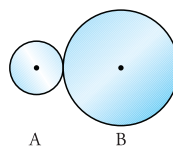
27. Sebuah benda bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan lingkaran 10 m. Jika percepatan linear benda 1 m/s<sup>2</sup>, besar percepatan sudut benda adalah . . . rad/s<sup>2</sup>.

- 10
- 5
- 2
- 1
- 0,1

28. Sebuah roda sepeda memerlukan waktu 1s untuk melakukan 1 putaran penuh. Frekuensi putaran roda adalah . . . Hz.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

29. Dua buah roda dipasang bersinggungan. Roda A berputar sebanyak 30 kali, roda B berputar sebanyak 6 kali. Jika diameter roda B adalah 120 cm, jari-jari roda A adalah . . . m



- 0,60
- 0,45
- 0,32
- 0,24
- 0,12

30. Sebuah batu diputar-putar menggunakan seutas tali. Gaya sentripetal yang bekerja adalah 32 N. Apabila massa batu adalah 1 kg dan panjang tali 2 m, maka kecepatan sudut putaran batu adalah . . . rad/s.

- 16
- 10
- 8
- 6
- 4

31. Sebuah balok kayu diputar dengan menggunakan tali sehingga membentuk ayunan kerucut. Kuadrat kelajuan linear kayu adalah 1 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> dan sudut putaran 37°. Maka jari-jari putarannya adalah . . . meter. ( $g = 10$  m/s<sup>2</sup> dan  $\sin 37^\circ = 0,6$ )

- 0,75
- 1
- 1,1
- 1,3
- 1,5

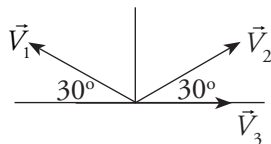
32. Sebuah mobil yang sedang bergerak mempunyai roda berjari-jari 20 cm yang berputar dengan kecepatan sudut 5 putaran/s. Setelah 10 s kecepatan sudutnya menjadi 20 putaran/s. Jarak yang telah ditempuh roda selama 10 s adalah . . . km.
- 1,01
  - 1,30
  - 1,57
  - 5,85
  - 7,85
33. Sebuah pesawat dengan massa 25 ton terbang pada ketinggian 1.000 m dari permukaan bumi. Pesawat tersebut mengalami gaya gravitasi sebesar . . . N. (Diketahui: massa bumi =  $5,97 \times 10^{24}$  kg; jari-jari bumi =  $6,37 \times 10^6$  m;  $G = 6,673 \times 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>)
- $2,15 \times 10^5$
  - $2,25 \times 10^5$
  - $2,35 \times 10^5$
  - $2,45 \times 10^5$
  - $2,55 \times 10^5$
34. Berapakah kuat medan gravitasi bumi pada ketinggian 2 kali jari-jari bumi dari permukaan bumi? ( $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup>)
- 1,09 m/s<sup>2</sup>.
  - 2,50 m/s<sup>2</sup>.
  - 3,45 m/s<sup>2</sup>.
  - 4,90 m/s<sup>2</sup>.
  - 5,0 m/s<sup>2</sup>.
35. Sebuah mobil dengan massa 0,6 ton bergerak dengan percepatan 2 m/s<sup>2</sup>. Gaya yang dihasilkan mesin mobil tersebut adalah . . . N.
- 1,2
  - 300
  - 600
  - 700
  - 1.200
36. Sebuah kotak bermassa 100 hg didorong oleh seorang siswa di atas lantai. Koefisien gesek ( $\mu_s$ ) antara permukaan kotak dengan lantai adalah 0,2. Gaya gesek maksimum antara permukaan kotak dengan lantai adalah . . . N.
- 1.000
  - 500
  - 200
  - 20
  - 0,2
37. Fatih bermain mobil-mobilan dengan cara menariknya menggunakan seutas tali yang membentuk sudut 60° terhadap bidang datar. Semula mobil-mobilan tersebut dalam keadaan diam. Kemudian setelah 5 sekon kecepatannya berubah menjadi 10 m/s. Apabila massa mobil-mobilan 200 g, gaya yang diberikan Fatih adalah . . . N.
- 0,2
  - 0,4
  - 0,6
  - 0,8
  - 1
38. Satu kardus minuman dengan massa 10 kg akan dinaikkan ke atas mobil boks. Agar pekerjaan menjadi mudah, maka dipasang papan miring dengan sudut kemiringan 37° terhadap bidang datar. Jika kotak didorong ke atas dengan gaya 500 N dan koefisien gesek kinetik antara kardus dan papan kayu  $\mu_k = 0,1$ , maka gaya normal bidang terhadap satu kardus minuman adalah . . . N.
- 50
  - 80
  - 130
  - 537
  - 550
39. Suatu benda dengan massa  $m$  bergerak melingkar dengan percepatan sentripetal  $a_s$ . Apabila jarak benda dengan pusat lingkaran adalah  $r$ , kecepatan linear benda adalah . . .
- $\sqrt{\frac{Fr}{m}}$
  - $\frac{Fr}{m}$
  - $m\omega^2 r$
  - $\sqrt{m\omega^2 r}$
  - $a_s r$
40. Sebuah batu dengan massa 100 g diikatkan pada sebuah tali sepanjang 100 cm. Batu tersebut diputar-putar dengan kecepatan linear 5 m/s. Gaya sentripetal yang dialami batu adalah . . . N.
- 2,5
  - 2,0
  - 1,5
  - 1,0
  - 0,5

#### B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

- Besar gaya elastik sebuah pegas dinyatakan oleh  $F = kx$ , dengan  $k$  adalah konstanta pegas dan  $x$  adalah perubahan panjang pegas. Bagaimana dimensi konstanta pegas?

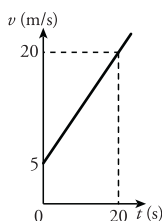


2. Sebuah gelas berisi zat cair dengan massa 120,4 gram dan volumenya  $20 \text{ cm}^3$ . Berapakah massa jenis zat cair tersebut?
3. Hitunglah dengan menggunakan aturan angka penting.
  - a. Luas persegi yang bersisi 4,5 cm.
  - b. Volume balok yang berukuran  $4,00 \text{ dm} \times 0,45 \text{ dm} \times 3,6 \text{ dm}$ .
  - c. Luas persegi panjang yang mempunyai panjang 20,67 cm dan lebar 18,5 cm.
  - d. Panjang sisi miring segitiga siku-siku yang sisi-sisinya 8,0 cm dan 6,0 cm.
4. Tentukanlah besar dan arah vektor perpindahan yang mempunyai komponen  $A_x = 8\sqrt{2} \text{ cm}$  dan  $A_y = -4 \text{ cm}$ .
5. Tiga buah vektor setitik tangkap terlihat pada gambar berikut.



Besar masing-masing vektor adalah  $|V_1| = 50 \text{ cm}$ ,  $|V_2| = 35 \text{ cm}$ ,  $|V_3| = 20 \text{ cm}$ . Berapakah besar resultan ketiga vektor tersebut?

6. Sebuah mobil bergerak lurus sesuai dengan grafik  $v-t$  berikut.



Hitunglah:

- a. percepatan mobil
  - b. jarak yang ditempuh mobil dalam 2 menit
7. Sebuah mobil mula-mula diam. Kemudian, mobil digerakan dengan percepatan tetap 5 m/s. Setelah 30 sekon, mesin mobil tersebut tiba-tiba mati, sehingga mobil mengalami perlambatan tetap dan mobil berhenti

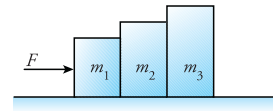
setelah 15 s. Berapa jarak total yang ditempuh mobil dari mulai bergerak sampai berhenti?

8. Pada sebuah proyek pembangunan gedung sekolah, untuk membuat campuran beton digunakan mesin pengaduk semen. Mesin tersebut pada awalnya berputar dengan kecepatan 60 rpm. Kemudian, dipercepat beraturan hingga kecepatannya menjadi 120 rpm dalam waktu 3 s. Tentukan:
  - a. percepatan sudut mesin,
  - b. banyak putaran yang ditempuh mesin selama 3 s tersebut.
9. Fitri menaiki sepeda dengan kecepatan 10 km/jam. Di tengah jeruji diikatkan seutas tali dan pada peleknya ia beri tanda titik dari cat. Jika jari-jari pelek sepeda adalah 30 cm, berapakah perbandingan antara percepatan sentripetal titik cat dengan percepatan sentripetal tali?
10. Simatupang mempunyai hobi bermain layang-layang. Ia menghabiskan benang sebanyak 3 gulung. Setiap gulung panjangnya 50 m. Benang tersebut digulung menjadi satu pada sebuah kaleng dengan jari-jari 10 cm. Apabila seluruh benang digunakan untuk menaikkan layang-layang dan kemampuan Simatupang menggulung benang adalah 5 lilitan per sekon, berapakah waktu yang diperlukan Simatupang untuk menggulung benang dan menurunkan layang-layangnya?
11. Seorang *cleaning service* sebuah hotel membawa barang lewat lift. Sebelum masuk lift, barang tersebut mempunyai massa 25 kg. Hitunglah berat barang tersebut jika:
  - a. lift belum bergerak,
  - b. lift bergerak ke atas dengan kecepatan tetap 3 m/s,
  - c. lift bergerak ke atas dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ ,
  - d. lift bergerak ke bawah dengan percepatan  $1 \text{ m/s}^2$ .



12. Pada perlombaan tarik tambang sedang bertanding dua tim. Dua buah tim sedang bertanding dalam suatu pertandingan. Tim A (di sebelah timur) terdiri dari 6 orang, masing-masing menarik tambang dengan gaya secara berturut-turut 80 N, 90 N, 85 N, 90 N, 100 N, dan 110 N. Lalu, tim B (di sebelah barat) juga terdiri dari 6 orang, masing-masing menarik tambang dengan gaya secara berturut-turut 75 N, 80 N, 95 N, 90 N, 85 N, dan 120 N. Tentukan:
- Tim yang menang.
  - Besar dan arah percepatan tali tambang jika  $m_{\text{tambang}} = 20 \text{ kg}$ .
13. Gaya gesek mempunyai keuntungan dan kerugian. Sebutkan contoh gaya gesek yang menguntungkan dan gaya gesek yang merugikan.
14. Tiga buah kotak dengan massa masing-masing  $m_1 = 100 \text{ g}$ ,  $m_2 = 200 \text{ g}$ , dan

$m_3 = 300 \text{ g}$  didorong oleh sebuah gaya  $F$ . Koefisien gesek antara kotak dengan lantai adalah 0,2.



Tentukan:

- Besar gaya  $F$ , apabila percepatan yang terjadi pada balok-balok sebesar  $50 \text{ cm/s}^2$ .
  - Besar gaya yang diterima  $m_3$  dari  $m_2$ .
15. Seorang pemain ski bermassa 60 kg, meluncur pada sebuah lereng dengan kemiringan  $60^\circ$  tanpa kecepatan awal. Jika diketahui koefisien gesekan salju dengan papan ski adalah 0,08, berapakah percepatan yang dialami orang tersebut.

# B a b VI

## Optika Geometri



*dok. PIM*

Perhatikan baik-baik gambar di atas. Dengan malu-malu, seorang anak perempuan bergaya di depan kamera yang dipegang oleh teman lelakinya. Berapakah alat optik yang tampak di situ? Satu? Dua? Mungkin “dua” adalah jawaban kalian, setelah mencermati gambar kamera di tangan si anak lelaki dan kacamata yang dipakai si anak perempuan. Namun, ada satu lagi alat optik yang mungkin lepas dari perhatian kalian. Padahal, alat itu jauh lebih hebat, karena merupakan ciptaan Tuhan. Ya, alat itu adalah mata. Nah, bagaimana cara kerja semua alat optik tersebut? Simaklah materi pada bab ini, maka kalian akan mengerti.



Di bab ini, kita akan mempelajari cara kerja beberapa alat optik. Dengan melakukan eksperimen sederhana, kalian akan dibimbing agar dapat menyelidiki, menganalisis, dan menggambarkan pembentukan bayangan berdasarkan hukum-hukum pemantulan pada cermin datar, cermin cekung, ataupun cermin cembung. Selain itu, kalian juga akan menyelidiki, menganalisis, dan menggambarkan bayangan berdasarkan hukum pembiasan pada lensa, kaca plan paralel, dan prisma. Dengan penguasaan kemampuan tersebut, kalian diharapkan mampu mendeskripsikan fungsi dan bagian-bagian pelbagai alat optik seperti mata, kacamata, mikroskop, dan teropong. Setelah itu, kemampuan menganalisis pembentukan bayangan pada alat-alat optik, baik dengan mata berakomodasi maupun tidak berakomodasi juga perlu dikuasai. Akhirnya berdasarkan kemampuan-kemampuan tersebut, kalian mampu mendeskripsikan penerapan alat-alat optik dalam kehidupan sehari-hari.

## A Pemantulan Cahaya

Alat-alat optik seperti mata, mikroskop, lup, cermin, teropong, dan beberapa alat optik lain digunakan untuk membantu penglihatan kita. Permasalahannya sekarang, bagaimanakah cara kerja alat optik tersebut hingga dapat digunakan untuk membantu penglihatan kita? Sebelum menjawab pertanyaan tersebut, diskusikanlah jawaban dari pertanyaan-pertanyaan pada *Eureka* di bawah ini.

### Eureka

Diskusilah pertanyaan-pertanyaan berikut bersama teman sebangku kalian.

1. Kaca spion mobil atau motor kebanyakan terbuat dari cermin cembung. Menurut kalian, apakah alasan penggunaan cermin cembung tersebut? Mengapa tidak memakai cermin cekung atau cermin datar?
2. Mengapa tulisan di bagian depan mobil ambulans dibuat terbalik?
3. Alat apakah yang digunakan oleh tukang reparasi jam untuk melihat mesin jam? Jika menggunakan alat tersebut, bagaimanakah sifat bayangan dibandingkan dengan benda aslinya?
4. Ketika melihat dasar kolam yang jernih dari samping, dasar kolam akan terlihat lebih dangkal dari keadaan sebenarnya. Konsep fisika apakah yang mendasari peristiwa ini?

Presentasikan hasil diskusi kalian di depan kelas.

Peristiwa-peristiwa pada *Eureka* tersebut merupakan sebagian kecil peristiwa yang terkait dengan materi yang akan kita pelajari. Peristiwa-peristiwa tersebut dapat dijelaskan dengan hukum pemantulan dan hukum pembiasan yang akan kita pelajari. Namun, sebelum membahas hal tersebut, kita harus mengetahui proses yang terjadi ketika mata kita melihat.

Ilmuwan-ilmuwan zaman dulu telah berusaha menjelaskan proses yang terjadi sehingga menyebabkan mata dapat melihat. Seorang ilmuwan muslim bernama **Al Haitham** berpendapat bahwa benda dapat dilihat karena ada cahaya dari benda tersebut yang sampai kepada mata dan membentuk bayangan pada retina. Jika benda yang kita lihat merupakan sumber cahaya, seperti api, lampu pijar, atau matahari, cahaya tersebut berasal dari benda tersebut. Namun, jika benda yang kita lihat bukan sumber cahaya, seperti meja, kursi, tembok, dan lain-lain, maka cahaya yang sampai ke mata kita merupakan cahaya pantul. Jadi, kita dapat melihat suatu benda dikarenakan mata kita menangkap cahaya dari benda tersebut, baik cahaya dari dirinya sendiri maupun cahaya pantulan.

Bagaimana cahaya bergerak? Banyak fenomena alam yang membuktikan bahwa cahaya bergerak lurus. Misalnya, sinar laser yang merambat lurus, sinar lampu mobil, dan lampu senter. Cahaya yang bergerak menurut garis lurus ini disebut **berkas cahaya**, selanjutnya disebut **sinar**. Apabila seberkas cahaya mengenai permukaan suatu benda, maka ada beberapa kemungkinan yang akan terjadi. Pertama, berkas cahaya akan dipantulkan ke segala arah. Kedua, cahaya akan diteruskan atau dibiaskan. Ketiga, cahaya akan dipantulkan dan dibiaskan.

## Hukum Pemantulan Cahaya

Uraian sebelumnya menyebutkan bahwa apabila seberkas cahaya mengenai permukaan suatu benda, salah satu kemungkinan yang akan terjadi adalah cahaya akan dipantulkan. Dalam membahas pemantulan cahaya, kita perlu mendefinisikan beberapa konsep, antara lain garis normal, sinar datang, sinar pantul, sudut datang, dan sudut pantul.

**Garis normal** adalah garis yang tegak lurus dengan permukaan benda. Garis normal merupakan garis khayal yang berfungsi memudahkan penggambaran sinar datang dan sinar pantul. **Sinar datang** adalah sinar yang menuju permukaan benda. Sedangkan **sinar pantul** adalah sinar yang dipantulkan (berasal dari benda). Setiap sinar datang akan membentuk sudut tertentu terhadap garis normal. Demikian juga dengan sinar pantul. Sudut yang dibentuk oleh berkas cahaya datang (sinar datang) dengan garis normal dinamakan **sudut datang** ( $\theta_i$ ). Sedangkan sudut yang dibentuk oleh berkas cahaya pantul (sinar pantul) dengan garis normal disebut **sudut pantul** ( $\theta_r$ ). Perhatikan Gambar 6.1.

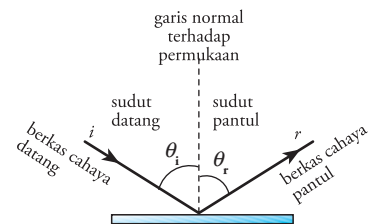
Berdasarkan eksperimen, diperoleh kesimpulan bahwa **sinar datang berada pada bidang yang sama dengan garis normal dan sinar pantul**. Selain itu, **besar sudut datang selalu sama dengan sudut pantul**. Kedua kesimpulan itu disebut **Hukum Pemantulan**. Kebenaran hukum ini dapat kalian buktikan dengan cara menyinari sebuah cermin menggunakan lampu senter pada ruangan gelap.

Pemantulan dibedakan menjadi dua macam, yaitu pemantulan baur (pemantulan tersebar) dan pemantulan

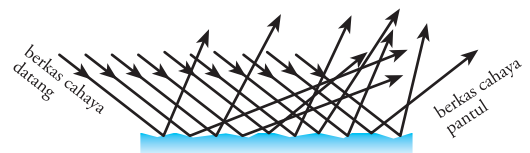
## Mozaiik

Pada abad ke-4 sebelum masehi, **Plato** dan **Euclides** berpendapat bahwa benda dapat terlihat karena dari mata kita keluar sinar-sinar penglihat yang berbentuk seperti kumis-kumis peraba. Teori ini dikenal dengan **teori Sinar-Sinar Penglihat**. Akan tetapi, Al Haitham (965-1038 M), seorang ilmuwan muslim berpendapat lain. Ia membuktikan bahwa bukan mata kita yang mengeluarkan cahaya untuk melihat benda, tetapi bendalah yang mengeluarkan atau memantulkan cahaya ke mata kita.

Turner, Howard R, 1997, hlm. 209

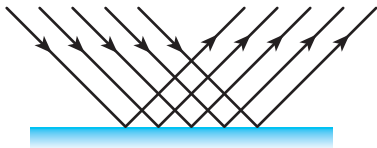


Gambar 6.1 Berkas cahaya yang datang pada permukaan benda



Gambar 6.2 Sinar yang datang pada permukaan kasar (tidak rata) akan dipantulkan menyebar

teratur. Perhatikan Gambar 6.2. Berkas cahaya yang datang pada suatu permukaan yang tidak rata, misalnya, kertas, kayu, tembok, dan sebagainya akan dipantulkan dengan arah yang tidak teratur. Pemantulan ini dinamakan **pemantulan baur**. Karena cahaya pantulan tidak teratur, kita akan kesulitan untuk menemukan bayangan benda pada permukaan yang tidak rata.



**Gambar 6.3** Sinar yang datang pada permukaan halus (rata) akan dipantulkan secara teratur.

Sekarang, perhatikan Gambar 6.3. Sebaliknya, apabila seberkas cahaya datang pada suatu permukaan yang rata, maka cahaya tersebut akan dipantulkan dengan arah yang teratur. Pemantulan ini dinamakan **pemantulan teratur**. Cermin dan lensa adalah salah satu contoh benda yang mempunyai permukaan rata.

### a. Pemantulan pada Cermin Datar

Becermine adalah kegiatan yang selalu kita lakukan setiap hari. Dengan bercermin, kita dapat melihat bayangan diri kita di dalam cermin. Cermin yang kita gunakan mempunyai permukaan datar, sehingga disebut sebagai cermin datar.

Ketika kita bercermin, bayangan yang terbentuk oleh cermin datar hampir sama dengan benda aslinya. Tinggi dan lebar bayangan sama dengan tinggi dan lebar benda aslinya. Dengan kata lain, bayangan **sama besar** dengan benda. Bagian atas benda juga menjadi bagian atas bayangan. Sifat bayangan seperti ini disebut bayangan **tegak**. Namun, bagian kanan tubuh kita akan menjadi bagian kiri bayangan. Sifat lainnya adalah bayangan pada cermin datar tidak dapat ditangkap layar. Bayangan ini sering kita namakan sebagai bayangan **maya**.

Bagaimanakah bayangan ini dapat terjadi? Kita tahu bahwa benda akan memancarkan atau memantulkan cahaya. Jika sinar yang dihasilkan atau dipantulkan ini tertangkap oleh cermin datar, sinar ini akan dipantulkan kembali oleh cermin datar. Perpanjangan sinar pantul ini akan membentuk bayangan benda. Proses terjadinya bayangan pada cermin datar dapat kalian pelajari pada Gambar 6.5.

Berdasarkan gambar tersebut, bayangan benda terbentuk dari perpanjangan sinar pantul (garis putus-putus), sehingga merupakan **bayangan maya**. Sementara bayangan yang dibentuk oleh perpotongan sinar-sinar datang disebut **bayangan nyata**. Dengan begitu, bayangan yang dibentuk cermin datar selalu bersifat maya.

Ketika bercermin, kalian tahu bahwa tinggi kalian dengan tinggi bayangan selalu sama. Demikian juga jarak kalian dengan cermin dan jarak bayangan ke cermin juga sama. Perbandingan tinggi bayangan dengan tinggi benda pada cermin disebut **perbesaran bayangan**. Pada cermin datar, perbesaran bayangan dirumuskan sebagai berikut.

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} = 1$$

**Keterangan:**  $M$  = perbesaran bayangan

$h'$  = tinggi bayangan

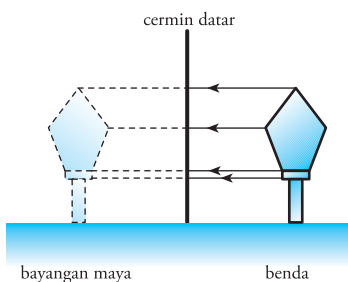
$h$  = tinggi benda

$s$  = jarak benda ke cermin

$s'$  = jarak bayangan ke cermin



**Gambar 6.4** Dengan bercermin, kita dapat melihat diri kita sendiri.



**Gambar 6.5** Cermin datar akan menghasilkan bayangan sama besar, tegak, dan maya.

Persamaan tersebut memberikan arti bahwa tinggi bayangan ( $h'$ ) sama dengan tinggi benda ( $h$ ), dan jarak benda ke cermin ( $s$ ) sama dengan jarak bayangan ke cermin ( $s'$ ).

Jika sebuah benda berada di antara dua cermin atau lebih yang disusun sedemikian rupa, bagaimanakah jumlah bayangan yang terbentuk pada kedua cermin? Ya, benda akan mempunyai bayangan lebih dari satu. Untuk membuktikannya, coba kalian lakukan kegiatan *Ekspedisi* berikut.

## Ekspedisi

Lakukanlah percobaan berikut bersama teman-teman kalian. Sebelumnya, kalian harus menyediakan dua buah cermin datar dan busur derajat. Susunlah kedua cermin hingga membentuk sudut tertentu, misalnya  $30^\circ$ . Kemudian letakkan sebuah benda, misalnya batu di antara kedua cermin. Amatilah bayangan yang terbentuk pada kedua

cermin dengan sudut pandang di tengah-tengah kedua cermin. Hitunglah bayangan yang terbentuk. Lakukan lagi dengan mengubah sudut menjadi  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ , dan  $180^\circ$ . Adakah hubungan antara besar sudut dengan jumlah bayangan yang terbentuk? Konsultasikan hasilnya kepada guru kalian.

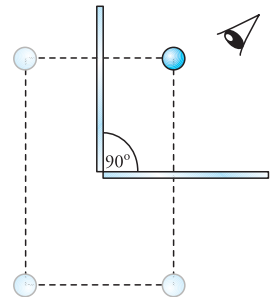
Berdasarkan hasil *Ekspedisi* yang telah dilakukan, kita menemukan bahwa jumlah bayangan yang terbentuk oleh dua cermin yang membentuk sudut  $\alpha$  dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - m$$

**Keterangan:**  $n$  = jumlah bayangan  
 $\alpha$  = sudut apit kedua cermin  
 $m$  = 1 jika  $360^\circ/\alpha$  bernilai ganjil  
 $m$  = 0 jika  $360^\circ/\alpha$  bernilai genap

Lalu, bagaimanakah cara melukis jalannya sinar sehingga terbentuk bayangan? Kita ambil contoh cara melukis bayangan jika benda terletak di antara dua cermin yang tegak lurus ( $\alpha = 90^\circ$ ). Perhatikan Gambar 6.6.

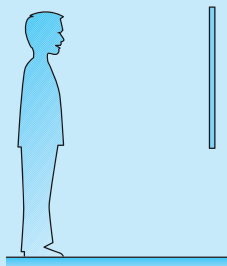
Untuk mengetahui penerapan persamaan pada cermin datar untuk menganalisis kejadian sehari-hari, perhatikan contoh berikut.



Gambar 6.6 Pembentukan bayangan oleh dua cermin yang saling tegak lurus.

## Contoh

Amin berdiri di depan sebuah cermin. Bagian bawah cermin berada pada ketinggian tertentu dari lantai. Tinggi badan Amin 160 cm, dan jarak mata dengan kepala bagian atas 10 cm. Perhatikan gambar. Berapakah tinggi dan panjang cermin yang dipakai agar seluruh badan Amin tampak di cermin?



**Penyelesaian:**

**Diketahui:** perhatikan gambar

$$h_A = AC = 160 \text{ cm}$$

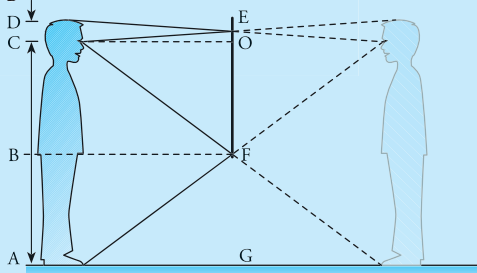
$$CD = 10 \text{ cm}$$

**Ditanyakan:** ED (panjang cermin)

EF (tinggi cermin)

**Jawab:**

Untuk menjawab pertanyaan ini, terlebih dahulu kita harus menggambarkan jalannya sinar sampai terbentuk bayangan. Perhatikan gambar.



Sinar yang datang dari ujung kaki akan dipantulkan sehingga tertangkap mata. Karena sudut datang sama dengan sudut pantul, maka segitiga AFC merupakan segitiga sama kaki. Akibatnya,  $AB = BC = \frac{1}{2} AC$

$$AB = \frac{1}{2} (160 - 10)$$

$$AB = 75 \text{ cm}$$

Tinggi cermin,  $GF = AB = 75 \text{ cm}$ .

Jadi, tinggi cermin dari lantai adalah 75 cm.

Sekarang kita lihat sinar dari bagian atas kepala. Sinar tersebut menyebabkan

$$EO = \frac{1}{2} CD$$

$$EO = \frac{1}{2} \times (10 \text{ cm})$$

$$EO = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang cermin} = EG - FG - EO$$

$$= 160 - 75 - 5$$

$$= 80 \text{ cm}$$

Jadi, panjang cermin yang dibutuhkan adalah 80 cm yang diletakkan 75 cm dari lantai.

## b. Pemantulan pada Cermin Cekung

Permukaan sendok pada bagian cekungan dapat berfungsi sebagai cermin cekung (*konkaf*). Cermin cekung sebenarnya merupakan bagian bola berongga. Pada cermin cekung, permukaan yang memantulkan cahaya adalah permukaan bagian dalam. Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar yang datang padanya. Sifat seperti ini disebut **konvergen**. Bagian-bagian cermin cekung dapat kalian lihat pada Gambar 6.7.

Pada gambar tersebut, garis yang melewati titik O disebut **sumbu utama** cermin. Titik C disebut **titik pusat kelengkungan cermin**. Garis OC adalah **jari-jari kelengkungan cermin atau radius cermin (disimbolkan dengan huruf  $R$ )**. Jarak OF disebut **panjang fokus (disimbolkan dengan huruf  $f$ )**, sedangkan titik F disebut **titik fokus**.

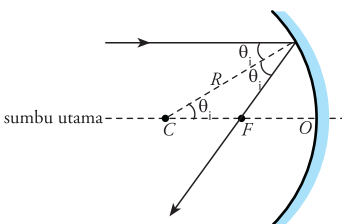
Hubungan antara radius cermin ( $R$ ) dengan panjang fokus ( $f$ ) diberikan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} R &= 2f \\ f &= \frac{1}{2} R \end{aligned}$$

**Keterangan:**  $R$  = radius cermin

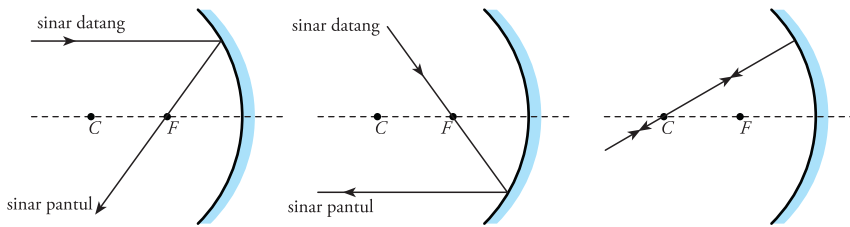
$f$  = fokus cermin

Untuk melukis pembentukan bayangan, kita hanya perlu melukiskan sinar-sinar istimewa yang melewati cermin cekung. Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung dapat kalian lihat pada Gambar 6.8.



Gambar 6.7 Bagian-bagian pada cermin cekung





Gambar 6.8 Sifat-sifat sinar istimewa pada cermin cekung.

Berdasarkan gambar tersebut, sinar-sinar istimewa pada cermin cekung dapat dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus (gambar a).
- 2) Sinar datang melalui titik fokus dipantulkan sejajar sumbu utama (gambar b).
- 3) Sinar datang melalui titik pusat kelengkungan akan dipantulkan melalui titik pusat tersebut (gambar c).

Untuk menggambarkan bayangan pada cermin cekung, kita cukup menggunakan dua dari ketiga berkas sinar tersebut. Langkah-langkah yang dapat kalian gunakan untuk mencari bayangan pada cermin cekung, dapat kalian lihat pada Gambar 6.9.

Bagian cermin cekung dapat kita bagi menjadi 4 ruangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.9. Berdasarkan gambar tersebut, kita dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Jika benda berada di ruang II dan III (lebih besar dari jarak fokus), bayangan yang terbentuk bersifat **nyata, diperkecil, dan terbalik**.
- 2) Jika benda berada di ruang I (jaraknya lebih kecil dari jarak fokus), bayangan yang terbentuk bersifat **maya, diperbesar, dan sama tegak**.
- 3) Bila benda berada di tempat jauh tak terhingga, bayangannya terletak pada titik fokus, dengan sifat **nyata, diperkecil, dan terbalik**.
- 4) Bayangan nyata terletak di depan cermin, dan bayangan maya terletak di belakang cermin.

Satu hal yang perlu ditekankan adalah **bayangan nyata terbentuk oleh perpotongan sinar-sinar pantul**. Sementara **bayangan maya terbentuk oleh perpanjangan sinar-sinar pantul** (ditunjukkan dengan garis putus-putus).

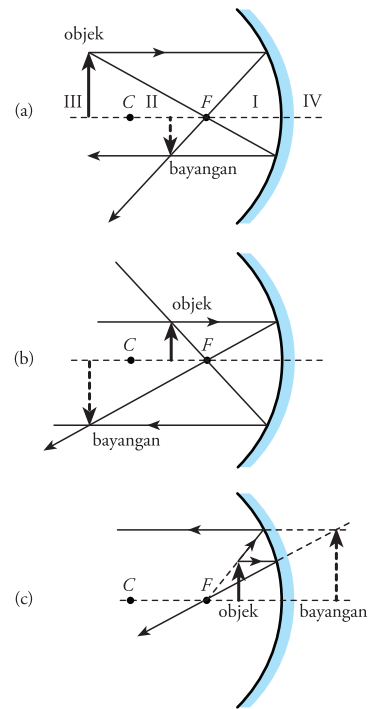
Untuk menghitung jarak bayangan benda kita dapat menggunakan rumus:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

atau

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

**Keterangan:**  $s$  = jarak benda  
 $s'$  = jarak bayangan  
 $f$  = panjang fokus  
 $R$  = jari-jari cermin



Gambar 6.9 Cara melukiskan pembentukan bayangan pada cermin cekung dengan benda pada pelbagai tempat (ruang).



Sementara perbesaran bayangan ( $M$ ) dapat dicari melalui perbandingan tinggi bayangan dengan tinggi benda yang dirumuskan sebagai berikut.

$$M = \left| \frac{h'}{h} \right| = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

**Keterangan:**  $M$  = perbesaran bayangan  
 $h'$  = tinggi bayangan  
 $h$  = tinggi benda

Untuk menambah pemahaman kalian tentang cermin cekung, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Sebuah cermin cekung mempunyai panjang fokus 2 cm. Sebuah benda setinggi 1 cm berada di depan cermin cekung. Lukiskan bayangan yang terbentuk dan hitung perbesaran bayangannya jika benda berada pada jarak

- 1 cm dari cermin
- 3 cm dari cermin
- 6 cm dari cermin

**Penyelesaian:**

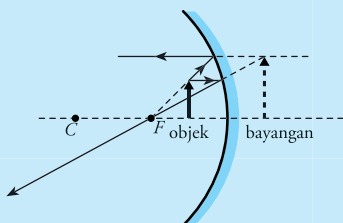
**Diketahui:**  $f = 2$  cm  
 $h = 1$  cm

**Ditanyakan:** lukisan bayangan dan  $h'$  jika:

- $s = 1$  cm
- $s = 3$  cm
- $s = 6$  cm

**Jawab:**

- Untuk  $s = 1$  cm, bayangan benda dapat dilukiskan sebagai berikut.



Jarak bayangan dapat dicari dengan persamaan:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{1} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{2}$$

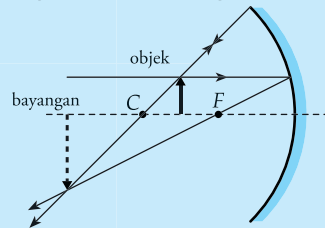
$$s' = -2 \text{ cm}$$

Tanda negatif (–) menunjukkan bayangan berada di belakang cermin (bayangan bersifat maya) sejauh 2 cm.

$$M = \left| \frac{h'}{h} \right| = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{2}{1} = 2 \text{ kali}$$

Jadi, perbesaran bayangannya adalah 2 kali tinggi semula atau 2 cm.

- Untuk  $s = 3$  cm, bayangannya dapat digambarkan sebagai berikut.



Untuk mencari jarak bayangan, gunakan persamaan:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3}$$

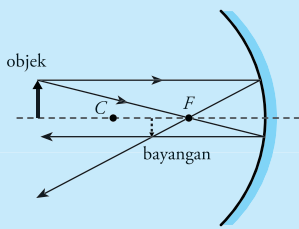
$$s' = 6 \text{ cm}$$

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{6}{2} = 3 \text{ kali}$$

$$h' = 3h = 3$$

Jadi, jarak bayangan 6 cm di depan cermin dengan tinggi 3 cm.

- Untuk  $s = 6$  cm, bayangannya digambarkan sebagai berikut.



Untuk mencari jarak bayangan, gunakan persamaan,

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6}$$

$$s' = 3 \text{ cm}$$

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ kali}$$

$$h' = 0,5 h = 0,5 \text{ cm}$$

Jadi, jarak bayangan 3 cm di depan cermin dengan tinggi 1,5 cm.

### c. Pemantulan pada Cermin Cembung

Cermin cembung (*konveks*) banyak digunakan pada spion mobil atau motor. Selain itu, cermin cembung biasa digunakan untuk memonitor pembeli pada beberapa toko besar. Bayangan yang dibentuk cermin cembung tampak lebih kecil dari benda aslinya.

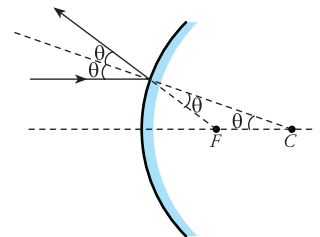
Berbeda dengan cermin cekung, pada cermin cembung, permukaan yang memantulkan cahaya adalah permukaan bagian luar yang cembung. Beberapa berkas cahaya yang datang pada cermin cembung akan disebarkan. Jadi, sifat cermin cembung adalah menyebarkan sinar yang datang. Sifat ini disebut **divergen**.

Titik fokus dan titik pusat kelengkungan pada cermin cekung berada di depan cermin. Namun, pada cermin cembung kedua titik (titik fokus dan titik pusat kelengkungan) tersebut berada di belakang cermin, seperti tampak pada Gambar 1.10.

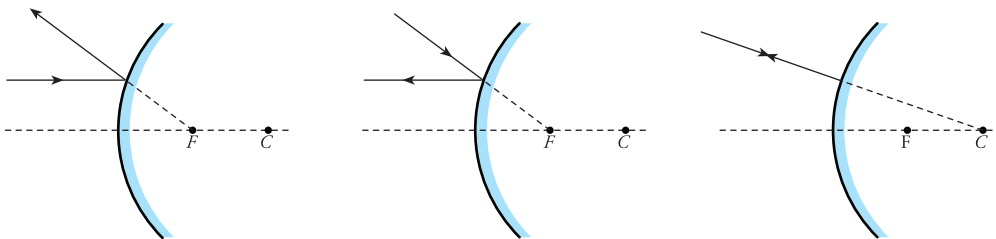
Beberapa sifat sinar istimewa pada cermin cembung adalah sebagai berikut.

- 1) Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus.
- 2) Sinar datang menuju titik fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.
- 3) Sinar datang menuju titik pusat kelengkungan akan dipantulkan seolah-olah datang dari titik pusat tersebut.

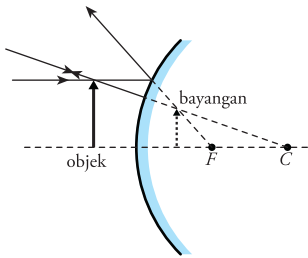
Ketiga sinar tersebut dapat dilukiskan seperti Gambar 6.11.



Gambar 6.10 Pada cermin cembung, cahaya akan dipantulkan secara menyebarkan.



Gambar 6.11 Sifat-sifat sinar istimewa pada cermin cembung.



**Gambar 6.12** Pembentukan bayangan benda oleh cermin cembung.

Untuk menggambar bayangan sebuah benda, kita hanya perlu menggunakan dua dari tiga sinar istimewa tersebut. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 6.12.

Dengan melihat gambar tersebut, bayangan yang terbentuk oleh cermin cembung selalu berada di belakang cermin (bersifat **maya**), **diperkecil**, dan **tegak**. Dengan sifat-sifat bayangan pada cermin cembung, sangatlah tepat apabila digunakan sebagai kaca spion mobil atau motor.

Persamaan bayangan pada cermin cekung, juga berlaku pada cermin cembung. Hanya saja, karena fokus pada cermin cembung di belakang cermin, maka jarak fokusnya bernilai negatif. Jadi, persamaan pada cermin cembung adalah:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{-f}$$

atau  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{-R}$

**Keterangan:**  $s$  = jarak benda  
 $s'$  = jarak bayangan  
 $f$  = jarak fokus  
 $R$  = jari-jari

Untuk mengetahui penerapannya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah obyek setinggi 0,5 cm berada 2 cm di depan cermin cembung dengan jari-jari kelengkungan 4 cm. Gambarkan dan tentukan jarak bayangan yang terjadi.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $h = 0,5$  cm

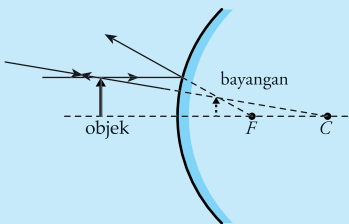
$s = 2$  cm

$R = 4$  cm

**Ditanyakan:**  $s'$

**Jawab:**

Pembentukan bayangan benda tersebut dapat kalian lihat pada gambar berikut.



Untuk mencari bayangan benda, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} &= \frac{2}{-R} \\ \frac{1}{s'} &= \frac{2}{-R} - \frac{1}{s} \\ &= \frac{2}{-4} - \frac{1}{2} \\ &= -1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi bayangan terletak 1 cm di belakang cermin (tanda – menunjukkan bayangan di belakang cermin).

Nah, untuk membuktikan kebenaran hukum pemantulan pada cermin cekung dan cembung yang telah kita pelajari di depan, lakukan *Eksperimen* berikut.

# **Eksperimen**    **Membuktikan Hukum Pemantulan pada Cermin**

## **A. Dasar Teori**

Cermin cekung dan cermin cembung merupakan cermin dengan permukaan berbentuk lengkung. Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar yang datang (bersifat konvergen). Sementara cermin cembung bersifat menyebarkan sinar (bersifat divergen). Secara umum, pada kedua cermin berlaku persamaan berikut.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

Persamaan tersebut berlaku untuk kedua cermin, hanya saja nilai  $f$  pada cermin cembung bernilai negatif.

## **B. Tujuan Percobaan**

Setelah melakukan eksperimen ini, kalian diharapkan mampu:

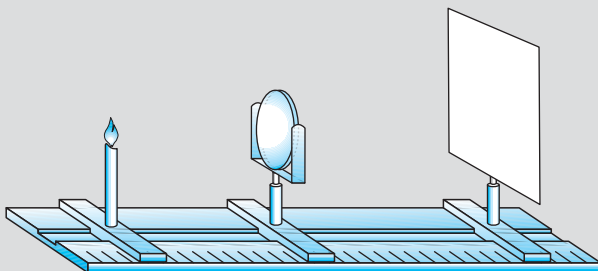
1. Membuktikan kebenaran persamaan pada cermin cekung dan cermin cembung.
2. Menentukan panjang fokus cermin yang digunakan.
3. Menentukan sifat bayangan yang terbentuk oleh cermin cekung dan cermin cembung.

## **C. Alat dan Bahan**

1. Cermin cembung dengan pelbagai ukuran
2. Cermin cekung dengan pelbagai ukuran
3. Sumber cahaya (lilin atau lampu di dalam kotak yang diberi celah)
4. Layar (terbuat dari kertas)
5. Penggaris

## **D. Langkah Kerja**

1. Susunlah sumber cahaya, cermin cembung, dan layar, seperti gambar berikut.



2. Nyalakan sumber cahaya dan tuliskan jaraknya sebagai jarak benda ( $s$ ).
3. Geserlah layar sampai diperoleh bayangan nyata yang paling jelas. Ukurlah jarak layar ke cermin sebagai jarak bayangan ( $s'$ ).
4. Ulangilah langkah 1 sampai 3 untuk jarak benda yang berbeda-beda dan untuk cermin cembung yang lain.
5. Ulangilah langkah 1 sampai 4 dengan mengganti cermin cembung dengan cermin cekung.
6. Masukkan hasil percobaan kalian pada tabel berikut.

No	Jenis Cermin	Jarak Benda ( $s$ )	Jarak Bayangan ( $s'$ )	Sifat Bayangan
1	Cembung 1	1. 2. ...	1. 2. ...	
2	Cembung 2	1. 2. ...	1. 2. ...	

3	Cekung 1	1. 2. ...	1. 2. ...	
4	Cekung 2	1. 2. ...	1. 2. ...	

#### E. Pembahasan

1. Bagaimanakah sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cembung dan cermin cekung?
2. Berdasarkan data pengamatan kalian, tentukan jarak fokus lensa yang digunakan.
3. Gambarkan skema pembentukan bayangan dari setiap data yang ada. Kemudian bandingkan dengan hasil pengamatan kalian.
4. Apakah yang dapat kalian simpulkan dari hasil eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen dengan cara menulis laporan yang balok dan benar. Kemudian, kumpulkan kepada guru kalian.

Untuk mengetahui kompetensi yang telah kalian kuasai, jawablah pertanyaan-pertanyaan pada *Uji Kompetensi* berikut.

### Uji Kompetensi

1. Muna sedang berdiri di depan cermin datar sepanjang 75 cm yang tergantung 50 cm dari lantai. Jika tinggi badan Muna 150 cm, tentukan jarak Muna ke cermin agar seluruh badannya tampak di cermin.
2. Gambarkan bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung dan cermin cembung dari sebuah benda yang berada:
  - a. di antara titik fokus dengan titik pusat
  - b. tepat di titik fokus
  - c. di antara titik fokus dengan titik pusat kelengkungan
  - d. di ruang tak terhingga
3. Sebuah benda setinggi 20 cm berada di depan cermin cekung sejauh 20 cm. Jika jari-jari kelengkungan cermin tersebut 25 cm,
  - a. lukiskan bayangan benda tersebut.
  - b. tentukan letak bayangan dan sifat bayangan
  - c. hitunglah perbesaran bayangan yang terjadi.

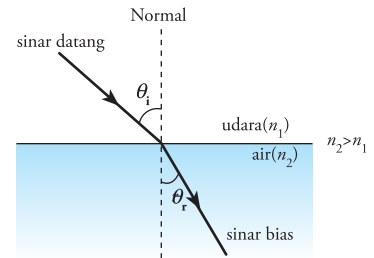


Gambar 6.13 Contoh peristiwa pembiasan

### B Pembiasan Cahaya

Perbedaan cepat rambat cahaya antara satu medium dengan medium lain menyebabkan peristiwa perubahan arah rambat (pembelokan) cahaya pada batas dua medium tersebut. Jika seberkas cahaya melalui bidang batas antara dua buah medium yang berbeda tingkat kerapatannya, cahaya akan mengalami perubahan arah rambat atau dibelokkan. Peristiwa pembelokan cahaya pada batas dua medium disebut **pembiasan**. Jadi, **pembiasan cahaya adalah peristiwa pembelokan arah rambat cahaya setelah mengalami perubahan medium.**

Pembiasan terjadi apabila cahaya melewati batas dua medium. Seberkas cahaya (sinar) yang datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat akan dibiaskan mendekati garis normal. Ini berarti, **sudut datang** ( $\theta_i$ ) lebih besar daripada **sudut bias** ( $\theta_r$ ). **Sudut datang** adalah sudut yang dibentuk oleh sinar datang dengan garis normal permukaan. Sementara **sudut bias** adalah sudut yang dibentuk oleh sinar bias dengan garis normal. Perhatikan Gambar 6.14.



Gambar 6.14 Sudut datang ( $\theta_i$ ), garis normal, dan sudut bias ( $\theta_r$ ).

Hubungan antara sinar datang, sudut datang, dengan sinar bias dan sudut bias di temukan secara eksperimental oleh **Willebrord Snellius** pada tahun 1621. Hubungan yang diberikan dikenal sebagai **Hukum Snellius** atau **Hukum Pembiasaan**. Hukum Snellius menyatakan hukum-hukum pembiasan sebagai berikut.

- 1) Sinar datang, garis normal, dan sinar bias terletak dalam satu bidang datar.
- 2) Perbandingan sinus sudut datang dengan sinus sudut bias pada dua medium berbeda merupakan bilangan tetap yang disebut **indeks bias**. Pernyataan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

**Keterangan:**  $n_1$  = indeks bias medium 1

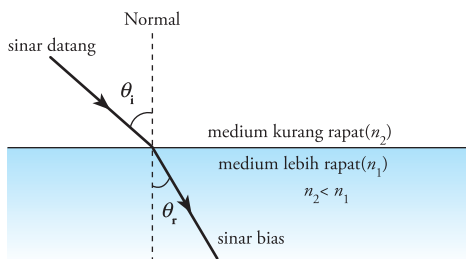
$n_2$  = indeks bias medium 2

$\theta_i$  = sudut datang sinar

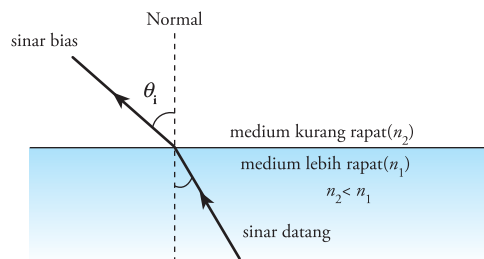
$\theta_r$  = sudut bias sinar

Selain kedua pernyataan Hukum Snellius tersebut, masih ada hal lain yang berlaku pada pembiasan, yaitu:

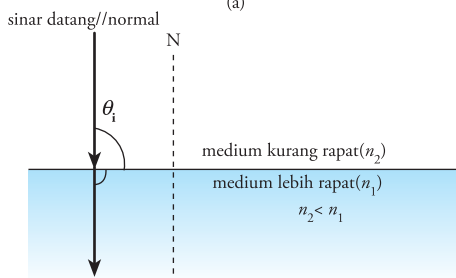
- 1) Jika sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat, sinar akan dibiaskan mendekati garis normal. Ini berarti, sudut bias lebih kecil daripada sudut datangnya ( $\theta_r < \theta_i$ ).
- 2) Jika sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat, cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal. Jadi, sudut datang lebih kecil dari sudut bias ( $\theta_i < \theta_r$ ). Perhatikan Gambar 6.15.
- 3) Jika sinar datang tegak lurus batas dua medium, sinar tidak dibiaskan melainkan diteruskan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6.15 Skema pembiasan cahaya. (a) Sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat dibiaskan mendekati garis normal. (b) Sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat dibiaskan menjauhi garis normal. (c) Sinar datang tegak lurus batas dua medium tidak dibiaskan.

Indeks bias beberapa benda dapat kalian lihat pada table berikut.

No	Bahan	$n$
1	Udara	1,000
2	Air	1,333
3	Es	1,310
4	Intan	2,417
5	Kaca flinta	1,575
6	Kaca krona	1,517
7	Kaca kwartz	1,459
8	Benzena	1,501

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 167

Ketika cahaya dari sebuah medium merambat melewati medium lain yang berbeda kerapatan, cepat rambat cahaya akan berubah. Cepat rambat cahaya akan berkurang jika memasuki medium dengan kerapatan tinggi. Sebaliknya, cepat rambat cahaya akan bertambah jika memasuki medium dengan kerapatan rendah. Perbandingan cepat rambat cahaya di ruang hampa ( $c$ ) dengan cepat rambat cahaya di dalam medium disebut **indeks bias mutlak**. Indeks bias suatu medium dapat dicari dengan persamaan:

$$n = \frac{c}{v}$$

**Keterangan:**  $n$  = indeks bias medium

$c$  = cepat rambat cahaya di ruang hampa

$= 3 \times 10^8$  m/s

$v$  = cepat rambat cahaya di dalam medium

Pada Hukum Snellius, indeks bias mutlak medium 1 ditunjukkan oleh  $n_1$  dan indeks bias mutlak medium 2 ditunjukkan dengan  $n_2$ . Sementara itu, perbandingan indeks bias mutlak dari dua buah medium disebut **indeks bias relatif**. Jika cahaya datang dari medium 1 dengan indeks bias mutlak  $n_1$  menuju medium 2 dengan indeks bias mutlak  $n_2$ , maka indeks bias relatif medium 2 terhadap medium 1 dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_{21} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan  $n = \frac{c}{v}$ , kita mendapatkan bentuk persamaan:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

**Keterangan:**  $n_{21}$  = indeks bias relatif medium 2 terhadap medium 1

$\theta_i$  = sudut datang

$\theta_r$  = sudut bias

$n_1$  = indeks bias mutlak medium 1

$n_2$  = indeks bias mutlak medium 2

$v_1$  = cepat rambat cahaya pada medium 1

$v_2$  = cepat rambat cahaya pada medium 2

Cepat rambat cahaya di udara sama dengan cepat rambat di ruang hampa. Artinya, indeks bias udara bernilai 1. Jadi, **jika cahaya dari udara memasuki medium dengan indeks bias  $n$ , maka indeks bias relatif medium sama dengan indeks bias mutlak medium tersebut.**

Untuk mengetahui penerapan konsep pembiasan dan indeks bias, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seseorang menyinari sebuah kaca tebal dengan sudut  $30^\circ$  terhadap garis normal. Jika cepat rambat cahaya di dalam kaca adalah  $2 \times 10^8$  m/s, tentukan indeks bias kaca dan sudut biasnya.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\theta_i = 30^\circ$

$$v_2 = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

**Ditanyakan:** a.  $n_2$  (n kaca)

b.  $\theta_r$

**Jawab:**

a. Untuk mencari indeks bias kaca, gunakan persamaan:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^8} = 1,5$$

Jadi, indeks bias kaca adalah 1,5.

b. Untuk mencari sudut bias, gunakan hukum Snellius.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin \theta_r} = \frac{1,5}{1}$$

$$\sin \theta_r = \frac{\sin 30^\circ}{1,5}$$

$$\sin \theta_r = \frac{0,5}{1,5}$$

$$\sin \theta_r = 0,33$$

$$\theta_r = \sin^{-1}(0,33)$$

$$= 19,27^\circ$$

Jadi, besar sudut biasnya adalah  $19,27^\circ$ .

Beberapa benda yang mempunyai indeks dipastikan akan membiaskan cahaya yang datang padanya. Sekarang, mari kita menyelidiki pembiasan pada pelbagai benda di sekitar kita.

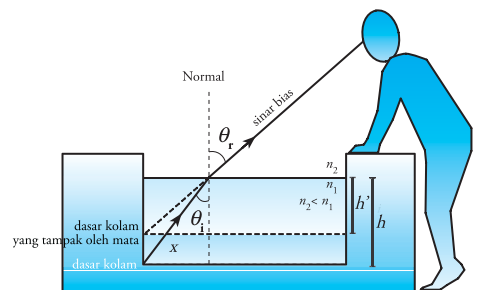
### a. Pembiasan Cahaya Oleh Air

Kalian telah mempelajari konsep pembiasan di depan. Peristiwa yang kalian lihat tersebut merupakan salah satu pembiasan cahaya oleh air. Ketika kita melihat dasar kolam, cahaya dari dasar kolam menuju mata kita. Akan tetapi, berkas cahaya tersebut tidak langsung menuju mata kita. Ketika melewati permukaan air, cahaya akan dibelokkan menjauhi normal (ingat,  $n_{\text{air}} > n_{\text{udara}}$ , atau kerapatan air lebih besar dari kerapatan udara). Akibatnya, cahaya dari dalam air dibiaskan menjauhi normal. Jadi, cahaya yang ditangkap mata adalah cahaya atau sinar bias. Perpanjangan sinar bias ini akan membentuk bayangan dasar kolam, yang lebih dangkal dari kedalaman sebenarnya. Jalannya sinar dari dalam air ke mata dapat kalian lihat pada Gambar 6.17.

Berapakah kedalaman kolam yang tampak oleh kita? Berdasarkan Gambar 6.17, kita mendapatkan persamaan:



**Gambar 6.16** Dasar kolam tampak lebih dangkal dari kedalaman sebenarnya.



**Gambar 6.17** Skema jalannya sinar akibat pembiasan cahaya oleh air.



$$\frac{\tan \theta_i}{\tan \theta_r} = \frac{x/h}{x/h'}$$

$$\frac{\sin \theta_i / \cos \theta_i}{\sin \theta_r / \cos \theta_r} = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_i} = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{n_2}{n_1} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_i} = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_i}$$

Karena medium 1 adalah air dan medium 2 adalah udara, maka persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk:

$$\frac{h'}{h} = \frac{n_u}{n_a} \times \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_i}$$

**Keterangan:**  $h$  = kedalaman sesungguhnya

$h'$  = kedalaman yang tampak

$n_u = n_2$  = indeks bias medium tempat pengamat berada

$n_a = n_1$  = indeks bias medium tempat benda berada

Persamaan tersebut berlaku secara umum ketika pengamat melihat kolam dari sudut tertentu. Jika pengamat melihat kolam tegak lurus permukaan kolam (berarti  $\theta_i = \theta_r = 0$ ), maka persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{h'}{h} = \frac{n_u}{n_a}$$

$$h' = \frac{n_u}{n_a} h$$

Kalian telah mengetahui bahwa  $n_a > n_u$ , sehingga  $h' < h$ . Ini berarti kolam tampak lebih dangkal dari kedalaman sesungguhnya. Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Abdullah berdiri di tepi kolam sambil memandang seekor ikan di dalam kolam tepat di bawahnya. Menurut Abdullah, ikan itu berada pada kedalaman 50 cm. Jika indeks bias air 1,3, indeks bias udara 1, dan tinggi Abdul 160 cm, tentukan:

- kedalaman ikan sebenarnya.
- Tinggi Abdullah menurut ikan.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $h' = 50$  cm

$$n_a = 1,3$$

$$\theta_i = \theta_r = 0^\circ$$

$$n_u = 1$$

$$h_A = 160$$

**Ditanyakan:** a.  $h$

b.  $h'_A$

**Jawab:**

- a. Ketika Abdul melihat ikan, sinar datang dari air, sehingga persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}\frac{h'}{h} &= \frac{n_u}{n_a} \\ h &= \frac{n_a}{n_u} h' \\ &= \frac{1,33}{1} \times 50 \\ &= 66,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Jadi, sebenarnya ikan tersebut berada pada kedalaman 66,5 cm.

- b. ketika ikan melihat Abdullah, sinar datang dari udara, sehingga persamaan yang digunakan:

$$\begin{aligned}\frac{h_A'}{h_A} &= \frac{n_a}{n_u} \\ h_A' &= \frac{n_a}{n_u} h_A \\ &= \frac{1,33}{1} \times 160 \\ &= 212,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

Jadi, tinggi Abdullah menurut ikan adalah 212,8 cm.

### b. Pembiasan pada Kaca Planparalel

Jika laboratorium kalian mempunyai kaca planparalel, gunakanlah untuk melakukan percobaan sederhana. Amati bagian bening pada kaca tersebut. Kaca tersebut mempunyai dua bagian bening yang sejajar. Itulah sebabnya kaca itu disebut kaca **planparalel** (paralel berarti sejajar).

Untuk mengetahui sifat pembiasan pada kaca planparalel, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



Gambar 6.18 Kaca planparalel.

### **E**kspedisi

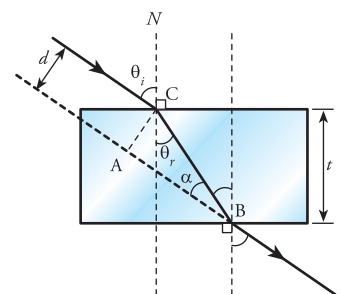
Letakkan kaca plan paralel di atas meja. Tancapkan 2 buah paku pada garis lurus dengan membentuk sudut tertentu terhadap permukaan bening. Lihatlah 2 buah paku tersebut dari seberang kaca sehingga tampak berimpit. Tancapkan 2 paku lagi pada sisi kaca yang kalian lihat. Usahakan dua paku tersebut berimpit dengan 2 paku pertama.

Setelah itu, ambilah kaca, dan hubungkan keempat paku tersebut. Apakah keempat paku tersebut lurus? Gambarkan jalannya sinar dari kaca planparalel berdasarkan hasil percobaan kalian. Kumpulkan hasil percobaan kepada guru kalian.

Jika sebuah berkas sinar menuju permukaan kaca plan paralel, maka sinar tersebut akan mengalami pembiasan sebanyak dua kali. Pembiasan pertama terjadi ketika cahaya masuk ke kaca. Pembiasan kedua terjadi ketika cahaya keluar dari kaca ke udara.

Ketika cahaya dari udara masuk ke kaca, cahaya akan dibiaskan mendekati normal. Setelah itu, cahaya akan keluar dari kaca dan dibiaskan oleh udara menjauhi normal. Perjalanan cahaya yang mengalami pembiasan dua kali ini dapat kalian lihat pada Gambar 6.19.

Dari gambar tersebut, berapa jauhkah pergeseran berkas cahaya yang masuk? Coba kalian perhatikan segitiga ABC. Pada segitiga ABC berlaku persamaan:



Gambar 6.19 Pembiasan cahaya pada kaca planparalel.

$$\sin \alpha = \frac{AC}{BC}$$

$$\sin (\theta_i - \theta_r) = \frac{AC}{BC}$$

Sekarang, perhatikan segitiga BCD. Pada segitiga BCD berlaku persamaan berikut.

$$\cos \theta = \frac{CD}{BC}$$

$$BC = \frac{CD}{\cos \theta}$$

Dari kedua persamaan di atas, pergeseran sinar yang melewati kaca planparalel dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$d = \frac{\sin(\theta_i - \theta_r)}{\cos \theta_r} t$$

**Keterangan:**  $d$  = pergeseran sinar  
 $t$  = tebal kaca planparalel  
 $\theta_i$  = sudut datang  
 $\theta_r$  = sudut bias

## Teropong

Di SMP/MTs, kalian telah mempelajari fungsi sinus dan cosinus pada segitiga siku-siku. Pada segitiga siku-siku berlaku persamaan:

$$\sin \theta = \frac{\text{sisi di depan sudut}}{\text{sisi miring}}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{sisi di samping sudut}}{\text{sisi miring}}$$

## Contoh

Sebuah sinar diarahkan ke salah satu sisi kaca plan paralel yang mempunyai ketebalan 4 cm. Jika sudut datang sinar tersebut  $30^\circ$  dan indeks bias kaca 2, tentukan pergeseran sinar pada kaca.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $t = 4$  cm  
 $n_{\text{kaca}} = 2$   
 $\theta_i = 30^\circ$

**Ditanyakan:**  $d$

**Jawab:**

Untuk mencari  $d$ , terlebih dahulu kita mencari sudut bias ( $\theta_r$ ). Sesuai dengan Hukum Pembiasan, kita mendapatkan,

$$n_{\text{kaca}} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r}$$

$$\begin{aligned} \sin \theta_r &= \frac{\sin \theta_i}{n_k} \\ &= \frac{\sin 30^\circ}{2} = \frac{1/2}{2} = \frac{1}{4} \end{aligned}$$

$$\theta_r = \sin^{-1}\left(\frac{1}{4}\right)$$

$$\theta_r = 14,48^\circ$$

Pergeseran cahaya dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} d &= \frac{\sin(\theta_i - \theta_r)}{\cos \theta_r} t \\ &= \frac{\sin(30^\circ - 14,48^\circ)}{\cos 14,48^\circ} \times 4 \\ &= \frac{\sin 15,52^\circ}{0,968} \times 4 \\ &= \frac{0,268}{0,968} \times 4 \\ &= 1,11 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi pergeseran sinar tersebut adalah 1,11 cm.

### c. Pembiasan Cahaya pada Bidang Lengkung

Ambillah sebuah bola lampu (bohlam) dan buang bagian dalamnya. Setelah itu, isilah bohlam dengan air. Gunakan bohlam tersebut untuk melihat benda di sekitar kalian. Bagaimanakah keadaan benda yang kalian lihat?

Bohlam yang diisi air dapat membiaskan cahaya. Permukaan bohlam merupakan permukaan lengkung (**lengkung sferis**). Ketika kita melihat benda dengan menggunakan permukaan lengkung, cahaya akan melewati permukaan lengkung dua kali. Permukaan lengkung pertama merupakan permukaan cembung, dan permukaan lengkung kedua berupa permukaan cekung. Ketika melewati permukaan cembung, jalannya sinar dapat digambarkan seperti Gambar 6.20.

Sesuai dengan Hukum Snellius:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

Jika kecil, maka sudut  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta_i$ ,  $\theta_r$  juga kecil, sehingga sinus sudut tersebut dapat digantikan dengan sudut itu sendiri. Dengan mengetahui:

$$\theta_i = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_r + \gamma$$

diperoleh:

$$\beta = \frac{n_1}{n_2} \theta_i + \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = (n_2 - n_1) \beta$$

Jika dinyatakan dalam radian maka:

$$\alpha \cong \frac{av}{s}; \beta \cong \frac{av}{R}; \gamma \cong \frac{av}{s'}$$

Karena hanya persamaan  $\beta$  yang bernilai eksak, maka diperoleh persamaan:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

**Keterangan:**  $n_1$  = indeks bias medium 1 (udara)

$n_2$  = indeks bias mediaum 2 (kaca)

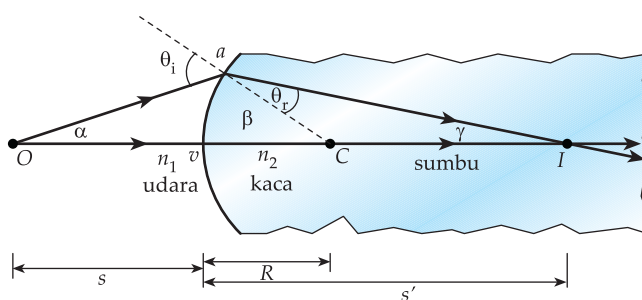
$s$  = jarak benda dari permukaan lengkung

$s'$  = jarak bayangan

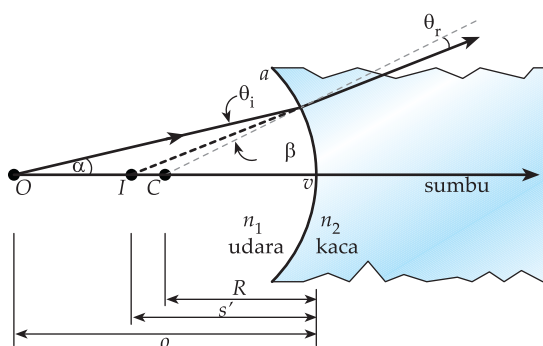
$R$  = jejari kelengkungan

Dari Gambar 6.21, Dua sinar dari  $O$  menyebar setelah direfraksikan oleh permukaan lengkung sferis dan membentuk bayangan maya di  $I$ . Dengan demikian,  $s$  bernilai positif tetapi  $s'$  dan  $R$  bernilai negatif.

$$\frac{n_1}{s} - \frac{n_2}{s'} = \frac{n_1 - n_2}{R}$$



Gambar 6.20 Pembiasan cahaya pada permukaan cembung sferis.



Gambar 6.21 Pembiasan cahaya pada permukaan cekung sferis.

Perbesaran bayangan akibat pembiasan pada bidang lengkung diberikan dengan persamaan berikut.

$$M = \frac{n_1 s'}{n_2 s}$$

Untuk menyelesaikan soal-soal yang berkaitan dengan pembiasan, kita perlu mengikuti perjanjian berikut. Jarak benda  $s$  atau jarak bayangan  $s'$  bernilai **positif apabila berada di depan permukaan lengkung**. Ini berarti benda dan bayangan mempunyai sifat nyata. Sementara jika berada di **belakang permukaan**,  $s$  dan  $s'$  bernilai **negatif** yang berarti benda dan bayangan bersifat maya. Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seekor ikan berada di dalam akuarium yang berbentuk bola dengan diameter 40 cm. Ikan berada pada jarak 20 cm dari dinding akuarium. Pada saat yang sama, seseorang melihat ikan dari jarak 50 cm. Jika indeks bias air  $4/3$ , tentukan:

- Bayangan ikan yang dilihat orang
- Bayangan orang yang dilihat ikan.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $R = \frac{1}{2} d = 20 \text{ cm}$

$$s_{\text{ikan}} = 20 \text{ cm}$$

$$s_{\text{orang}} = 50 \text{ cm}$$

$$n_{\text{air}} = 4/3$$

**Ditanyakan:** a.  $s'_{\text{ikan}}$  dilihat orang

b.  $s'_{\text{orang}}$  dilihat ikan

**Jawab:**

- ketika orang melihat ikan, cahaya datang dari ikan. Ini berarti cahaya dibiaskan oleh bidang cekung ( $R$  positif), dan jarak ikan bernilai positif. Jadi, bayangan ikan yang dilihat orang dicari dengan persamaan,

$$\frac{n_{\text{air}}}{s_{\text{ikan}}} + \frac{n_{\text{udara}}}{s'_{\text{ikan}}} = \frac{n_{\text{udara}} - n_{\text{air}}}{R}$$

$$\frac{4/3}{20} + \frac{1}{s'_{\text{ikan}}} = \frac{1 - (4/3)}{20}$$

$$\frac{1}{s'_{\text{ikan}}} = -\frac{1}{60} - \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{s'_{\text{ikan}}} = -\frac{5}{60}$$

$$s'_{\text{ikan}} = -\frac{60}{5}$$

$$s'_{\text{ikan}} = -12 \text{ cm}$$

Jadi, orang tersebut melihat ikan seolah-olah berada pada jarak 12 cm dari dinding akuarium.

- Ketika ikan melihat orang, cahaya datang dari orang. Ini berarti cahaya dibiaskan oleh bidang cembung ( $R$  negatif) dan jarak orang bernilai positif. Jadi, bayangan orang yang dilihat ikan dicari dengan persamaan:

$$\frac{n_{\text{air}}}{s_{\text{orang}}} + \frac{n_{\text{udara}}}{s'_{\text{orang}}} = \frac{n_{\text{udara}} - n_{\text{air}}}{R}$$

$$\frac{4/3}{50} + \frac{1}{s'_{\text{orang}}} = \frac{1 - (4/3)}{-20}$$

$$\frac{1}{s'_{\text{orang}}} = \frac{1}{60} - \frac{4}{150}$$

$$\frac{1}{s'_{\text{orang}}} = -\frac{3}{300}$$

$$s'_{\text{orang}} = -\frac{300}{6}$$

$$s'_{\text{orang}} = -100 \text{ cm}$$

Jadi, ikan melihat orang seolah-olah berada pada jarak 100 cm dari dinding akuarium.

#### d. Pembiasan Cahaya pada Lensa

Bidang lengkung sferis biasanya mempunyai ketebalan tertentu. Bidang lengkung yang sangat tipis (ketebalannya diabaikan) disebut **lensa**. Beberapa teman kalian mungkin menggunakan kacamata untuk membantu mempertajam penglihatannya. Beberapa jenis kacamata memanfaatkan lensa. Selain pada kacamata, lensa juga digunakan pada kamera, teropong, dan mikroskop. Apakah keistimewaan lensa sehingga digunakan pada alat-alat tersebut?

**Lensa adalah benda bening tembus cahaya yang terdiri dari dua bidang lengkung atau satu bidang lengkung dan satu bidang datar.**

Kegunaan utama dari lensa untuk membentuk bayangan benda. Lensa dapat dibagi menjadi beberapa macam, yaitu lensa cembung (*konveks*), dan lensa cekung. Lensa cembung terdiri dari lensa dobel cembung (*bikonveks*), lensa cembung cekung (*konveks-konkaf*), dan lensa cembung-datar (*plan-konveks*). Sedangkan lensa cekung terdiri dari lensa dobel cekung (*bikonkaf*), lensa cekung cembung (*konkaf-konveks*), dan lensa cekung-datar (*plan-konkaf*).

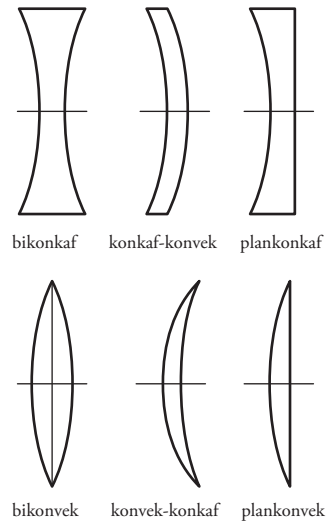
##### 1) Pembiasan Cahaya pada Lensa Cembung

Lensa cembung merupakan lensa yang permukaan lengkungnya menghadap ke luar. Lensa cembung memiliki sifat **konvergen** (mengumpulkan sinar). Sinar sejajar sumbu utama lensa dibiaskan menuju fokus lensa. Bagian-bagian pada lensa cembung dapat kalian lihat pada Gambar 6.23.

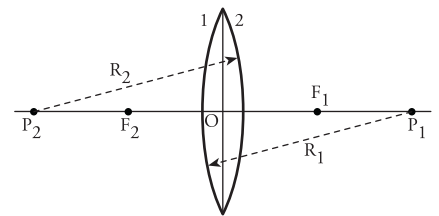
Pada gambar tersebut, titik F disebut **titik fokus**. Berbeda dengan cermin cembung, titik fokus pada lensa ada dua, yaitu fokus di depan cermin ( $F_2$ ) dan fokus di belakang cermin ( $F_1$ ). Titik fokus  $F_1$  disebut **fokus utama** atau **fokus aktif**. Sedangkan  $F_2$  disebut **fokus pasif**. Fokus aktif dan fokus pasif simetri terhadap lensa. Ketika kalian menghadapkan lensa cembung ke arah matahari, maka di belakang lensa (di atas tanah) akan tampak sebuah titik terang. Dengan menggeser lensa naik turun, kalian akan mendapatkan titik yang paling terang dan tampak silau. Titik tersebut merupakan titik fokus lensa. Jika titik tersebut jatuh di atas kertas (benda yang mudah terbakar), maka kertas dapat terbakar.

Sementara titik R pada gambar disebut **titik kelengkungan lensa** dan jarak OR disebut **jejari kelengkungan lensa**. Seperti halnya pada cermin, pada lensa juga berlaku  $R = 2f$ . Titik O disebut sebagai **titik pusat lensa**.

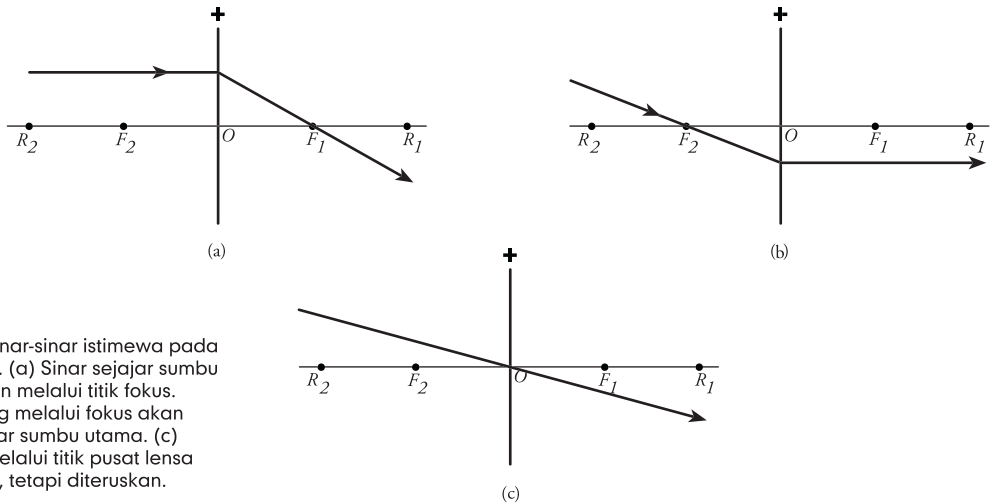
Untuk menggambarkan pembentukan bayangan pada lensa cembung diperlukan sinar-sinar istimewa. Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung dapat kalian lihat pada Gambar 6.24.



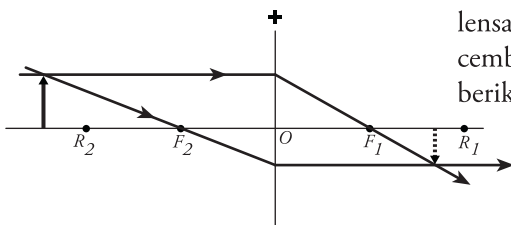
Gambar 6.22 Macam-macam lensa.



Gambar 6.23 Bagian cermin cembung.

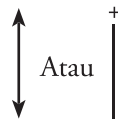


**Gambar 6.24** Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung. (a) Sinar sejajar sumbu utama dibiaskan melalui titik fokus. (b) Sinar datang melalui fokus akan dibiaskan sejajar sumbu utama. (c) Sinar datang melalui titik pusat lensa tidak dibiaskan, tetapi diteruskan.



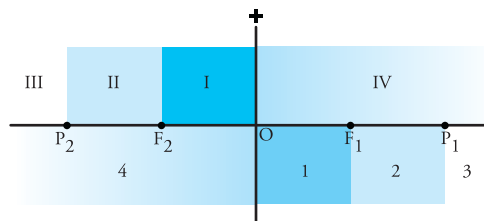
**Gambar 6.25** Contoh cara melukis pembentukan bayangan pada lensa cembung.

Nah, dengan menggunakan dua dari tiga sinar istimewa tersebut, kita dapat melukiskan pembentukan bayangan pada lensa. Dalam melukiskan pembentukan bayangan pada lensa cembung, kita dapat menggambarkan lensa dengan simbol berikut.



Contoh pembentukan bayangan benda pada lensa cembung dapat kalian lihat pada Gambar 6.25.

Untuk memudahkan dalam menganalisis lensa cembung, biasanya dilakukan penomoran ruang. Penomoran ruang pada lensa cembung dapat kalian lihat pada Gambar 6.26.



keterangan :  
I, II, III, IV ruang untuk benda  
1, 2, 3, 4 ruang untuk bayangan

**Gambar 6.26** Penomoran ruang pada lensa cembung

Sementara itu, persamaan-persamaan yang berlaku pada lensa cembung adalah:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

atau

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

**Keterangan:**  $s$  = jarak benda  
 $s'$  = jarak bayangan  
 $f$  = jarak fokus  
 $R$  = jari-jari

## Tips & Trik

Untuk menentukan sifat benda dan bayangan, kita dapat mengikuti perjanjian berikut.

- Jika benda di depan lensa, jarak benda ( $s$ ) bernilai positif dan bersifat nyata. Sebaliknya, jika benda di belakang lensa, jarak benda bernilai negatif ( $-s$ ) dan bersifat maya.
- Jika bayangan di belakang lensa, jarak bayangan ( $s'$ ) bernilai positif dan bersifat nyata. Namun, jika bayangan di depan lensa, jarak bayangan bernilai negatif ( $-s'$ ) dan bersifat maya.

Perbesaran bayangan pada lensa cembung (M), secara matematis dirumuskan sebagai:

$$M = \left| \frac{h'}{h} \right| = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

Untuk membantu kalian dalam memahami pembiasan pada lensa cembung, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah benda dengan tinggi 3 cm berada pada jarak 10 cm dari lensa cembung yang mempunyai jarak fokus 6 cm.

- Gambarkan pembentukan bayangan yang terjadi.
- Bagaimanakah sifat bayangannya?
- Tentukan tinggi bayangan benda.

**Penyelesaian:**

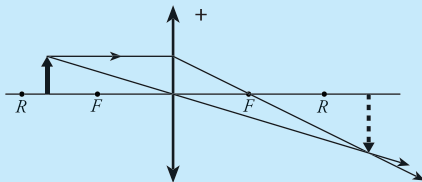
**Diketahui:**  $h = 3 \text{ cm}$   
 $s = 10 \text{ cm}$   
 $f = 6 \text{ cm}$

**Ditanyakan:**

- lukisan bayangan
- sifat bayangan
- $h'$

**Jawab:**

- Pembentukan bayangan pada lensa dapat dilukiskan sebagai berikut.



- Berdasarkan gambar, sifat bayangan adalah **nyata, terbalik, dan diperbesar**.
- Untuk mencari tinggi bayangan, kita terlebih dahulu mencari jarak bayangan. Jarak bayangan dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{6} - \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{5-3}{30}$$

$$s' = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

$$h' = \left(\frac{s'}{s}\right)h$$

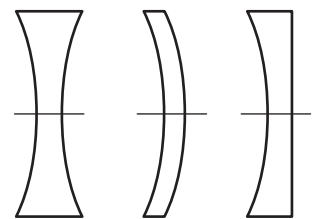
$$= \left(\frac{15}{10}\right) \times 3$$

$$= 4,5 \text{ cm}$$

Jadi tinggi bayangan benda adalah 4,5 cm.

## 2) Pembiasan Cahaya pada Lensa Cekung

Lensa cekung merupakan lensa yang permukaan lengkungnya menghadap ke dalam. Ciri utama lensa cekung adalah bagian tengah lebih tipis daripada bagian pinggirnya. Lensa cekung disebut juga lensa negatif karena titik fokus utamanya bernilai negatif (terletak di depan lensa). Lensa cekung memiliki sifat divergen (memauncarkan sinar). Jika sinar datang sejajar sumbu utama lensa akan dibiaskan seolah-olah berasal dari titik fokus lensa.



bikonkaf konkaf-konvek plankonkaf

Gambar 6.27 Jenis-jenis lensa cekung.

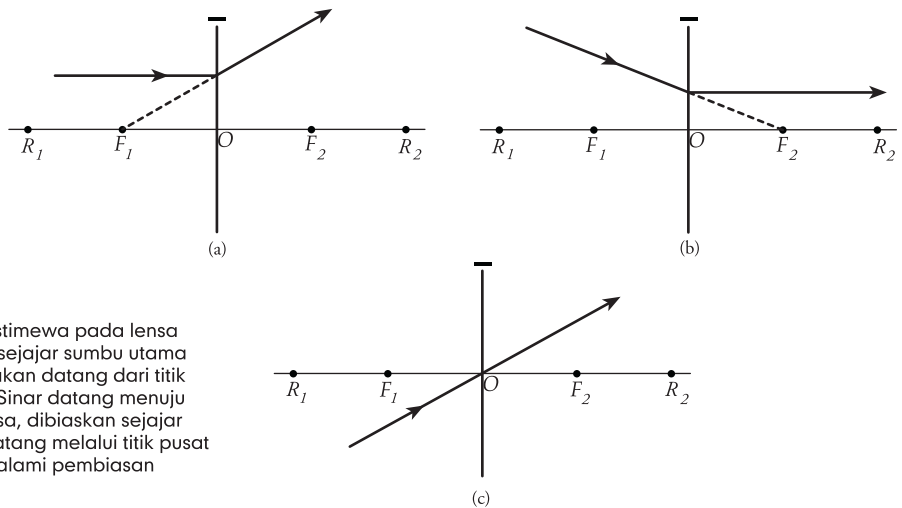


Lensa cekung mempunyai beberapa jenis, yaitu lensa cekung cekung (*bikonkaf*), lensa cekung cembung (*konkaf-konvek*), dan lensa cekung datar (*plan-konkaf*). Jenis-jenis lensa cekung dapat kalian lihat pada Gambar 6.27.

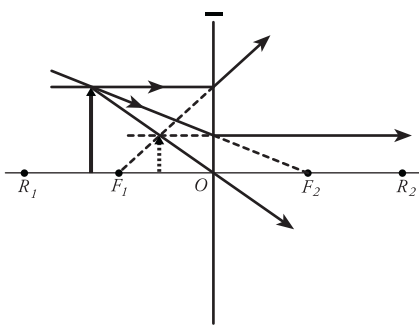
Seperti halnya lensa cembung, lensa cekung juga mempunyai tiga sinar istimewa. Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung adalah sebagai berikut.

- Sinar datang sejajar sumbu utama lensa, dibiaskan seakan-akan datang dari titik fokus di depan lensa.
- Sinar datang menuju titik fokus di belakang lensa, dibiaskan sejajar sumbu utama.
- Sinar datang melalui titik pusat optik (titik O), tidak mengalami pembiasan tetapi diteruskan.

Ketiga sinar istimewa tersebut dapat digambarkan seperti gambar 6.28.



**Gambar 6.28** Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung. (a) Sinar datang sejajar sumbu utama lensa, dibiaskan seakan-akan datang dari titik fokus di depan lensa. (b) Sinar datang menuju titik fokus di belakang lensa, dibiaskan sejajar sumbu utama. (c) Sinar datang melalui titik pusat optik (titik O), tidak mengalami pembiasan tetapi diteruskan.



**Gambar 6.29** Contoh pembentukan bayangan benda di depan lensa

Dalam melukiskan pembentukan bayangan pada lensa cekung diperlukan minimal dua buah sinar istimewa. Contoh pembentukan bayangan pada lensa cekung dapat kalian lihat pada Gambar 6.29.

Pada lensa cembung fokus ( $f$ ) dan jejari kelengkungan lensa ( $R$ ) bernilai positif. Akan tetapi, pada lensa cekung,  $f$  dan  $R$  bernilai negatif ( $-f$  dan  $-R$ ). Jadi, pada lensa cekung berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{-f}$$

atau

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{-R}$$

**Keterangan:**  $s$  = jarak benda  
 $s'$  = jarak bayangan  
 $f$  = jarak fokus  
 $R$  = jejari kelengkungan lensa

Sifat benda dan bayangan pada lensa cekung ditentukan dengan perjanjian sebagai berikut.

- Jika **benda di depan** lensa, benda bersifat **nyata** dan jarak benda ( $s$ ) bernilai **positif**. Sebaliknya, jika di **belakang** lensa, benda bersifat maya dan jarak benda ( $s$ ) bernilai **negatif** ( $-s$ ).
- Jika **bayangan di depan** lensa, bayangan bersifat **maya** dan jarak bayangan ( $s'$ ) bernilai **negatif**. Sebaliknya, jika bayangan di **belakang** lensa, bayangan bersifat nyata, dan jarak bayangan ( $s'$ ) bernilai **positif** ( $s'$ ).

Perbesaran bayangan pada lensa cembung ( $M$ ), juga berlaku pada cermin cekung. Jadi, secara matematis perbesaran bayangan pada cermin cekung dirumuskan sebagai berikut.

$$M = \left| \frac{h'}{h} \right| = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

Bagaimanakah penerapan persamaan pada lensa cekung? Untuk mengetahuinya, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Sebatang rumput setinggi 10 cm berada di depan lensa cekung yang jarak fokusnya 5 cm. Jika jarak rumput dengan lensa 15 cm, gambarkan dan tentukan tinggi bayangan rumput yang dibentuk lensa cekung.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $h = 10$  cm

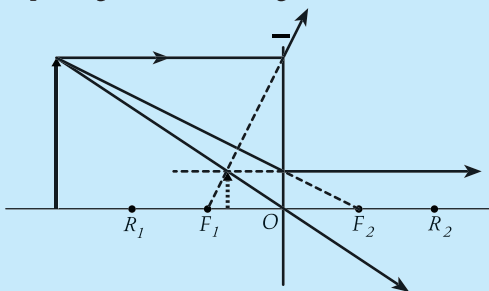
$f = 5$  cm

$s = 25$  cm

**Ditanyakan:**  $h'$

**Jawab:**

Benda berada pada jarak 15 cm, berarti benda berada di luar R. Pembentukan bayangannya dapat digambarkan sebagai berikut.



Untuk mencari tinggi bayangan, gunakan persamaan,

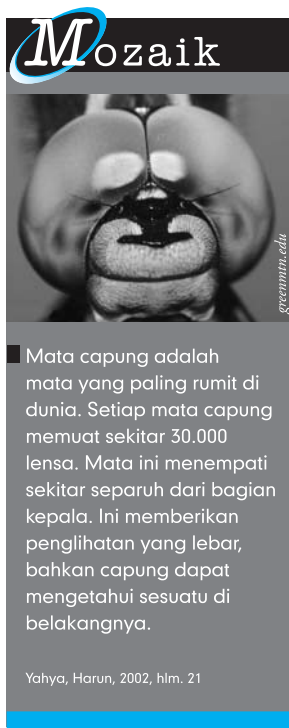
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{-f}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{s'} &= \frac{1}{-f} - \frac{1}{s} \\ &= \frac{1}{-5} - \frac{1}{15} \\ &= -\frac{4}{15} \\ s' &= -\frac{15}{4} \\ &= -3,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tanda negatif menunjukkan benda bersifat maya dan terletak di depan cermin pada jarak 3,75 cm. Tinggi bayangan dicari dengan persamaan perbesaran bayangan.

$$\begin{aligned} \frac{h'}{h} &= \frac{s'}{s} \\ h' &= \frac{s'}{s} h \\ &= \frac{3,75}{15} \times 10 \\ &= 2,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi tinggi bayangan rumput adalah 2,5 cm.



### 3) Kekuatan Lensa

Kacamata minus atau kacamata plus menunjukkan lensa yang dipakai. Kacamata minus memakai lensa negatif (lensa cekung), sedangkan kacamata plus menggunakan lensa positif (lensa cembung). Seperti telah kalian ketahui, fokus merupakan bagian penting dari lensa. Namun, ketika kalian mencari lensa, kalian tidak akan ditanya tentang fokus lensa. Yang ditanyakan biasanya adalah kekuatan lensa yang dicari.

Setiap lensa memiliki kekuatan lensa. **Kekuatan lensa** merupakan harga kebalikan dari jarak fokus lensa. Artinya makin pendek jarak fokus lensa, kekuatan lensa semakin besar. Kekuatan lensa dinyatakan dengan satuan **dioptri (D)**.

Jika fokus lensa dinyatakan dalam meter, kekuatan lensa dirumuskan:

$$P = \frac{1}{f}$$

Namun, jika jarak fokus lensa dinyatakan dalam cm, maka kekuatan lensa dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{100}{f}$$

Keterangan:  $P$  = kekuatan lensa (D)

$f$  = fokus lensa

### e. Pembiasan pada Prisma

Prisma adalah zat optik yang dibatasi oleh dua bidang pembias yang berpotongan. Garis potong antara kedua bidang disebut **sudut pembias**. Sedangkan sudut yang dibentuk oleh kedua bidang disebut **sudut bias**. Ketika seberkas cahaya atau sinar masuk ke prisma, cahaya akan dibiaskan mendekati garis normal. Sebaliknya, ketika sinar keluar dari prisma, sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Sudut yang dibentuk oleh titik potong garis perpanjangan sinar datang dengan sinar bias disebut **sudut deviasi**.

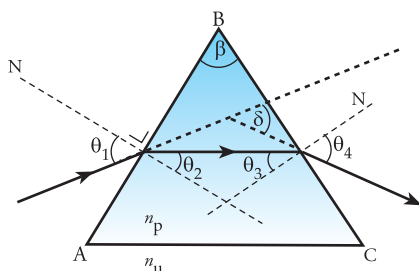
Prisma mempunyai dua bidang pembias yang tidak paralel dan membentuk sudut tertentu. Ini akan mengubah arah rambat cahaya yang masuk dan meninggalkan kaca prisma. Perubahan arah rambat ini disebut **deviasi cahaya**. Jalannya sinar pada prisma dapat kalian lihat pada Gambar 6.30.

Bagaimanakah cara mencari sudut pembias ( $\beta$ )? Perhatikan segitiga ABC. Sudut pembias ( $\beta$ ) kaca prisma dapat diketahui dengan cara menjumlahkan sudut-sudut segitiga ABC.

$$\angle BAC + \angle BCA + \beta = 180^\circ$$

$$(90^\circ - \theta_2) + (90^\circ - \theta_3) + \beta = 180^\circ$$

$$\theta_2 + \theta_3 = \beta$$



Gambar 6.30 Bagian-bagian prisma dan skema pembiasan cahaya pada prisma.

Sedangkan sudut deviasinya dapat diketahui dengan cara:

$$\begin{aligned}\delta_1 &= \theta_1 - \theta_2 \text{ dan } \delta_2 = \theta_4 - \theta_3 \\ \delta_{\text{total}} &= \delta_1 + \delta_2 \\ &= \theta_1 - \theta_2 + \theta_4 - \theta_3 \\ &= \theta_1 + \theta_4 - (\theta_2 + \theta_3) \\ \delta_{\text{total}} &= \theta_1 + \theta_4 - \beta\end{aligned}$$

Deviasi paling kecil ( minimum ) akan terjadi jika sudut datang ( $\theta_1$ ) sama dengan sudut keluar ( $\theta_4$ ) atau

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \theta_4 & \theta_2 &= \theta_3 \text{ sehingga} \\ \theta_2 + \theta_3 &= \beta & \theta_2 &= \frac{1}{2} \beta \text{ dan}\end{aligned}$$

$$\delta_{\min} = 2\theta_1 - \beta \quad \text{atau} \quad \theta_1 = \frac{1}{2} (\delta_{\min} + \beta)$$

Menurut hukum pembiasan, apabila indeks bias prisma adalah  $n_p$  dan indeks bias medium di sekitar prisma adalah  $n_u$ , maka berlaku persamaan berikut.

$$\begin{aligned}n_u \sin \theta_1 &= n_p \sin \theta_2 \\ n_u \sin \frac{1}{2} (\beta + \delta_{\min}) &= n_p \sin \frac{1}{2} \beta\end{aligned}$$

Untuk sudut pembias ( $\beta$ ) kecil ( $\beta \leq 15^\circ$ ) maka **deviasi minimum** dapat dicari dengan persamaan:

$$\delta_{\min} = \left( \frac{n_p}{n_u} - 1 \right) \beta$$

**Keterangan:**  $\delta_{\min}$  = sudut deviasi minimum

$n_p$  = indeks bias prisma

$n_u$  = indeks bias medium

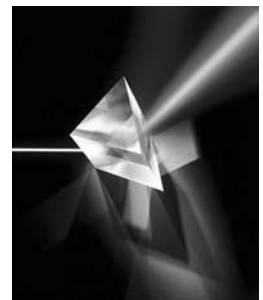
$\beta$  = sudut bias prisma

Adanya deviasi cahaya ini menyebabkan cahaya putih akan terurai menjadi sederatan warna jika melewati sebuah prisma. Peristiwa terurainya cahaya putih tersebut dinamakan **dispersi cahaya**. Cahaya putih sebenarnya adalah kumpulan beberapa cahaya ( spektrum ) warna yang mempunyai panjang gelombang yang berbeda. Oleh karena itulah setiap cahaya warna mempunyai indeks bias yang berbeda satu dengan yang lain. Perhatikan Gambar 6.31.

Dari gambar tersebut, cahaya putih terdiri dari warna merah dengan panjang gelombang 622-720 nm, jingga (597 - 622 nm), kuning (577 - 597 nm), hijau (492 - 577 nm), biru (455 - 492 nm), ungu (390 - 455 nm). Cahaya putih yang merupakan gabungan dari beberapa warna dinamakan cahaya **polikromatik**, sedangkan cahaya yang hanya satu warna dinamakan cahaya **monokromatik**.

Apabila sebuah warna mempunyai indeks bias  $n_w$  maka sudut deviasi warna tersebut adalah

$$\delta_w = (n_w - 1) \beta$$



Gambar 6.31 Dispersi cahaya putih oleh prisma.

Microsoft Encarta Premium 2006

Jika indeks bias warna merah adalah  $\beta_m$  dan warna ungu adalah  $\beta_u$  maka lebar sudut spektrum cahaya putih yang dihasilkan oleh prisma adalah:

$$\begin{aligned}\varphi &= \delta_u - \delta_m \\ &= (n_u - 1) \beta - (n_m - 1) \beta\end{aligned}$$

$$\varphi = (n_u - n_m) \beta$$

Lebar sudut tersebut dinamakan **sudut dispersi** ( $\varphi$ ).  
Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Seberkas cahaya bergerak ke salah satu sisi sebuah prisma bening yang terbuat dari bahan tertentu. Sudut pembias prisma adalah  $15^\circ$ . Prisma tersebut diputar sedemikian rupa sehingga diperoleh deviasi minimum sebesar  $10^\circ$ . Jika prisma tersebut berada di udara bebas ( $n_u = 1$ ), berapakah indeks bias prisma tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\beta = 15^\circ$

$\delta = 10^\circ$

**Ditanyakan:**  $n_p$

**Jawab:**

Karena sudut pembias prisma kecil, maka berlaku persamaan

$$\delta_{\min} = \left( \frac{n_p}{n_u} - 1 \right) \beta$$

$$10^\circ = (n_p - 1) \times 15^\circ$$

$$10^\circ = 15^\circ n_p - 15^\circ$$

$$25^\circ = 15^\circ n_p$$

$$n_p = 5/3$$

Jadi indeks bias prisma bening tersebut adalah  $\frac{5}{3}$ .

Kita telah mempelajari Hukum Pemantulan dan Hukum Pembiasan. Bagaimanakah penguasaan kalian terhadap materi tersebut? Untuk menambah pengetahuan kalian, kerjakan *Ekspedisi* di bawah ini.

## Ekspedisi

1. Rancanglah sebuah percobaan sederhana untuk mencari hubungan jarak benda, jarak bayangan, dan jarak fokus pada lensa cembung dan lensa cekung. Kalian dapat mengikuti langkah percobaan seperti saat melakukan eksperimen pemantulan pada cermin.
2. Berikan dan jelaskan beberapa contoh

- peristiwa sehari-hari yang menunjukkan terjadinya pembiasan cahaya pada pelbagai benda.
3. Ketika melihat jalan beraspal di siang hari yang panas, aspal tampak berair. Peristiwa ini disebut fatamorgana. Coba kalian jelaskan proses terjadinya fatamorgana ini. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

Untuk mengetahui kompetensi yang telah kalian kuasai, jawablah pertanyaan-pertanyaan pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Es balok mempunyai indeks bias 1,31. Berapakah cepat rambat cahaya di dalam es balok?
2. Seekor burung bangau sedang terbang pada ketinggian 5 meter dari permukaan kolam. Burung tersebut melihat seekor ikan di dalam kolam. Jika ikan berada pada kedalaman 2 m dan indeks bias air  $\frac{4}{3}$ , tentukan:
  - a. ketinggian burung dilihat oleh ikan,
  - b. kedalaman ikan dilihat oleh burung.
3. Sebuah lensa cekung terbuat dari bahan dengan indeks bias 1,5. Lensa tersebut mempunyai jari-jari kelengkungan 15 cm. Tentukan:
  - a. jarak fokus lensa jika berada di udara,
  - b. jarak fokus lensa jika dimasukkan ke dalam zat cair dengan indeks bias 3.
  - c. kekuatan lensa.
4. Andi melakukan percobaan menggunakan prisma yang memiliki sudut pembias  $90^\circ$ . Prisma tersebut disinari oleh cahaya putih sehingga menghasilkan sudut dispersi  $54^\circ$ . Jika Andi ingin melakukan percobaan lagi dengan menggunakan prisma yang sama tetapi sudut pembias  $45^\circ$  berapakah sudut dispersinya?

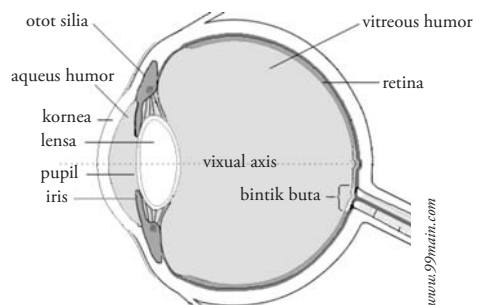
## C Alat-alat Optik

Di pengantar bab ini, kalian telah mengetahui beberapa alat yang memanfaatkan sifat optik. Beberapa alat optik yang sering kita jumpai antara lain mata, kamera, mikroskop, teropong, dan lup. Nah, di subbab ini, kita kan membahas cara kerja alat-alat optik tersebut.

### 1. Mata

Mata merupakan karunia yang diberikan Tuhan Yang Maha Esa kepada kita. Dengan mata, kita dapat melihat benda-benda di sekeliling kita. Seperti yang telah dijelaskan di depan, kita dapat melihat benda karena ada cahaya dari benda yang masuk ke mata. Mata merupakan alat optik yang tidak asing bagi kita. Namun, pernahkah kalian memikirkan proses yang terjadi sehingga kita dapat melihat?

Sebelum kita mempelajari cara kerja mata, terlebih dahulu kita akan membahas sedikit tentang bagian-bagian mata yang berfungsi sebagai optik. Bagian-bagian tersebut antara lain: lensa, pupil, kornea, retina, iris, aqueous humour, otot siliar, dan vitreous humour. Bagian-bagian tersebut dapat kalian lihat pada Gambar 6.32.



Gambar 6.32 Bagian-bagian mata.

Apakah fungsi dari setiap bagian mata tersebut?

a. **Lensa mata**

Lensa mata merupakan benda bening berbentuk cembung yang terdapat di dalam bola mata dan terletak persis di belakang iris. Lensa mata berfungsi memfokuskan agar cahaya atau bayangan yang masuk jatuh di retina. Lensa mata dapat memipih dan mencembung. Kemampuan ini disebut **daya akomodasi** mata. Mata akan mencembung jika melihat benda-benda yang dekat dan memipih jika melihat benda yang letaknya jauh.

b. **Kornea**

Kornea merupakan selaput luar mata yang tidak berwarna (bening). Kornea berfungsi melindungi bagian-bagian mata yang berada di dalamnya. Selain itu, juga berfungsi menerima rangsangan cahaya dan meneruskannya sampai ke mata bagian dalam. Kornea selalu bersih karena dibasahi oleh air mata yang dihasilkan kelenjar air mata.

c. **Pupil**

Pupil adalah bagian mata yang berupa celah bundar di tengah iris. Pupil merupakan tempat lewatnya cahaya yang menuju ke retina.

d. **Iris**

Iris adalah lapisan di depan lensa yang dapat memberikan warna pada mata. Misalnya, warna coklat, hitam, hijau, dan biru. Iris berfungsi mengatur banyaknya cahaya yang masuk ke mata. Jika cahaya yang masuk mata terlalu terang, iris akan menyipit. Penyipitan ini menyebabkan pupil mengecil. Akibatnya, cahaya yang masuk mata sedikit. Jika cahaya terlalu redup, iris akan melebar sehingga pupil akan membesar dan mengakibatkan cahaya yang masuk mata lebih banyak.

e. **Retina**

Retina merupakan lapisan paling dalam dari bola mata. Retina berfungsi menerima cahaya atau bayangan benda. Bayangan yang diterima oleh retina bersifat nyata, terbalik, dan diperkecil. Retina mengandung sel-sel yang sangat peka terhadap cahaya yang disebut **bintik kuning**. Sedangkan sel-sel yang tidak peka terhadap cahaya disebut **bintik buta**.

f. **Aqueous Humour dan Vitreous Humour**

Aqueous humour merupakan bagian mata berupa cairan yang terdapat di antara lensa mata dan kornea. Sementara vitreous humour atau disebut juga cairan kaca merupakan bagian antara lensa dan retina yang berupa cairan. Aqueous humour dan vitreous humour berfungsi memberi bentuk pada mata serta mengukuhkan mata.

g. **Otot Siliar (Otot lensa)**

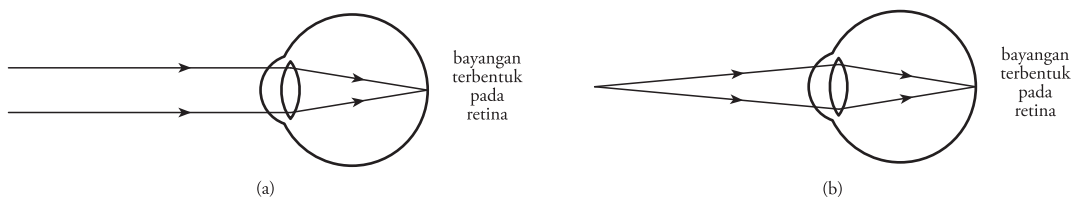
Bagian ini berfungsi mengatur kelengkungan lensa mata. Pengaturan kelengkungan ini diperlukan agar bayangan benda jatuh tepat di retina.



www.wikimedia.org

■ Indra yang paling baik pada burung adalah indra penglihatan dan pendengaran. Burung heron dan kormoran, yang berburu di dalam air dilengkapi bentuk mata yang memungkinkan melihat dengan jelas di dalam air. Sementara mata burung hantu terletak di bagian depan kepalanya. Rancangan ini memberi pandangan yang menyatu yang hebat. Kepala burung hantu dapat berputar 270°, sehingga burung ini mampu melihat ke belakang dengan mudah. Sungguh ini merupakan rancangan sempurna yang diciptakan oleh Sang Maha Sempurna.

Lalu, bagaimanakah proses terjadinya pembentukan bayangan pada retina? Agar bayangan benda diterima retina dengan jelas, mata harus membiaskan sinar yang datang dari benda. Berdasarkan urutan bagian mata, sinar dari benda akan melewati medium yang mempunyai indeks bias ( $n$ ) berbeda. Medium tersebut adalah udara ( $n = 1,00$ ), kornea ( $n = 1,38$ ), aqueous humour ( $n = 1,33$ ), lensa mata ( $n = 1,40$ ), dan vitreous humour ( $n = 1,34$ ). Proses jalannya sinar hingga terbentuk bayangan pada mata dapat kalian lihat pada Gambar 6.33.



**Gambar 6.33** (a) Jika Benda berada di jauh tak terhingga, lensa mata memipih. dalam keadaan ini mata sudah tidak berakomodasi. (b) Jika benda di titik dekat, lensa mata mencembung berarti mata berakomodasi maksimum.

Kita dapat melihat benda dengan jelas jika berada di dalam jangkauan penglihatan. Jangkauan penglihatan berada di antara **titik dekat** (*punctum proximum* =  $PP$ ) dan **titik jauh** (*punctum remotum* =  $PR$ ). **Titik dekat** merupakan titik terdekat yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata yang berakomodasi maksimum. Pada mata normal, titik terdekatnya adalah 25 cm atau disebut **jarak baca normal** ( $s_n = 25$  cm). Sementara **titik jauh** mata adalah titik terjauh yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata yang tidak berakomodasi. Pada mata normal, titik jauhnya adalah tak terhingga ( $\infty$ ).

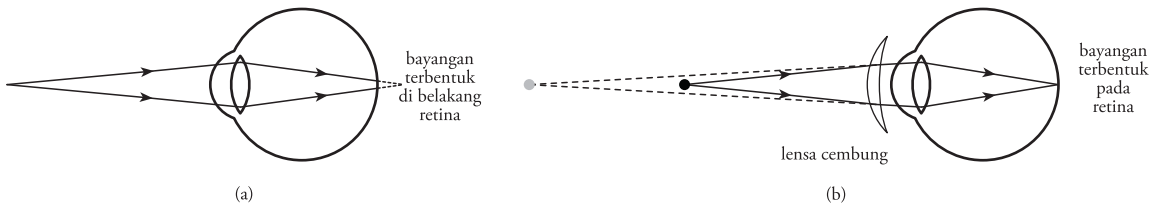
Pada orang yang mengalami gangguan penglihatan atau cacat mata, bayangan benda tidak jatuh di retina. Artinya bayangan benda jatuh di depan atau di belakang retina. Hal ini disebabkan lensa mata tidak dapat mencembung dan memipih dengan sempurna. Beberapa cacat mata yang dapat dialami seseorang adalah sebagai berikut.

#### a. Rabun Dekat (Hipermetropi)

Apakah kalian punya seorang teman yang tidak bisa membaca dari jarak dekat? Jika ada, maka teman kalian mengalami cacat mata yang disebut **rabun dekat (hipermetropi)**. Orang yang menderita rabun dekat mempunyai titik dekat (**punctum proximum**) yang melebihi titik dekat mata normal ( $PP > s_n$ ) dan titik jauhnya tidak terhingga ( $\infty$ ). Akibatnya, penderita hanya mampu melihat dengan jelas benda-benda yang jauh. Sedangkan jika benda terletak pada jarak dekat (jarak baca normal), orang tersebut tidak dapat melihat dengan jelas.

Ketika orang yang mengalami rabun dekat melihat benda pada jarak baca normal, bayangan benda akan jatuh di belakang retina. Untuk membuat bayangan benda jatuh di retina, penderita dibantu dengan menggunakan **kacamata berlensa cembung (positif)**. Dengan bantuan kacamata berlensa positif, bayangan benda akan jatuh tepat di retina. Perhatikan Gambar 6.34.





**Gambar 6.34** (a) Skema jalannya sinar pada mata hipermetropi. (b) Skema jalannya sinar hipermetropi setelah menggunakan kacamata positif.

Kekuatan lensa mata yang digunakan penderita rabun dekat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pembiasan cahaya.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Dengan menggunakan kacamata positif (berlensa cembung), benda yang berada pada jarak  $s$  mempunyai bayangan ( $s'$ ) pada jarak baca normal (25 cm) di depan kacamata ( $s'$  bernilai negatif). Bayangan ini kemudian dibiaskan kembali oleh lensa mata dan jatuh tepat di retina.

Pada persamaan pembiasan di atas, kita tahu bahwa faktor di sebelah kiri menunjukkan kekuatan lensa ( $P$ ). Menurut kacamata, jarak benda adalah  $s$  dan jarak bayangan ( $-s_n$ ). Jadi, kekuatan lensa hipermetropi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{1}{s} + \frac{1}{-s_n}$$

Agar mata dapat melihat benda pada jarak baca normal ( $s = 0,25$  m), maka kekuatan lensa yang digunakan dapat dicari dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-s_n}$$

$$P = 4 - \frac{1}{s_n}$$

**Keterangan:**  $P$  = kekuatan lensa (dioptri = D)

$s_n$  = titik dekat mata hipermetropi (m)

Jika titik dekat mata hipermetropi dinyatakan dalam satuan cm, persamaan tersebut menjadi:

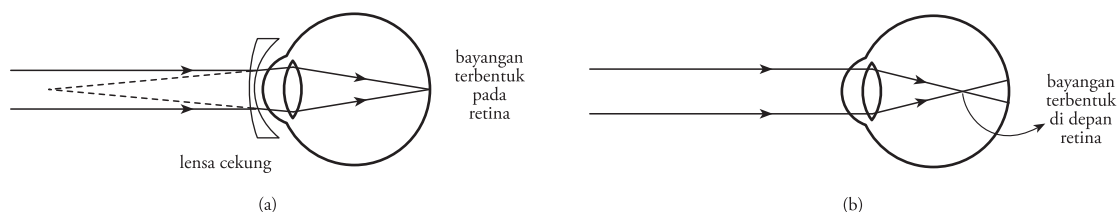
$$P = 4 - \frac{100}{s_n}$$

#### b. Rabun Jauh (Miopi)

Titik terjauh (*punctum remotum*) pada mata normal adalah di jauh tak terhingga. Artinya, mata normal dapat melihat dengan jelas benda-benda yang jauh tak terhingga. Jika seseorang tidak mampu melihat dengan jelas benda-benda di jauh tak terhingga, orang tersebut mengalami **rabun jauh** atau disebut **miopi**.

Penderita rabun jauh memiliki titik jauh lebih dekat daripada titik jauh mata normal dan titik dekatnya lebih pendek dari titik dekat mata normal. Jika mata miopi melihat benda di jauh tak terhingga, bayangan benda jatuh di depan retina. Ini terjadi karena lensa mata tidak dapat memipih dengan baik sesuai yang diperlukan.

Untuk mengatasi cacat miopi, penderita ditolong dengan menggunakan **kacamata berlensa cekung (negatif)**. Dengan menggunakan lensa negatif, benda yang terletak di titik tak terhingga ( $s = \infty$ ) dibiaskan dan mempunyai bayangan di titik titik jauh miopi (PR) di depan lensa ( $s'$  bernilai negatif). Bayangan ini akan dibiaskan kembali oleh lensa mata dan menghasilkan bayangan tepat di retina. Perhatikan Gambar 6.35.



**Gambar 6.35** (a) Pada mata miopi, bayangan benda jatuh di depan retina. (b) Dengan menggunakan kacamata negatif, bayangan benda jatuh tepat di retina.

Berapakah kekuatan lensa yang harus digunakan penderita miopi yang hanya dapat melihat benda pada jarak  $s$ ? Dengan menggunakan persamaan pembiasan pada lensa, kita dapat menentukan kekuatan lensa yang digunakan penderita miopi dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Dari penjelasan sebelumnya,  $s = \infty$ , dan  $s' = -PR$ , sehingga kekuatan lensa yang harus dipakai dapat ditentukan dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-PR}$$

$$P = -\frac{1}{PR}$$

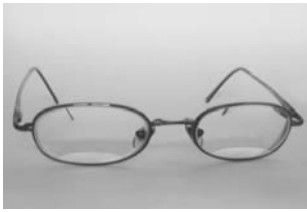
**Keterangan:**  $PR$  = punctum remotum atau titik jauh miopi (m).

Jika titik jauh mata dinyatakan dalam cm, persamaan tersebut menjadi,

$$P = \frac{100}{PR}$$

### c. Mata tua (Presbiopi)

Orang yang sudah lanjut usia biasanya juga mengalami gangguan penglihatan akibat usia. Gangguan mata ini disebut **presbiopi**. Presbiopi disebabkan oleh berkurangnya daya akomodasi mata karena



**Gambar 6.36** Kacamata bifokal untuk membantu penglihatan orang yang lanjut usia

usia lanjut. Akibat berkurangnya daya akomodasi ini, lensa mata tidak dapat mencembung dan memipih sesuai kebutuhan. Keadaan ini menyebabkan titik jauh mata lebih pendek dari titik jauh normal ( $PR < \infty$ ) dan titik dekatnya lebih besar dari titik dekat normal ( $PP > 25 \text{ cm}$ ). Ini menyebabkan orang yang sudah berusia lanjut tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang terlalu jauh atau terlalu dekat.

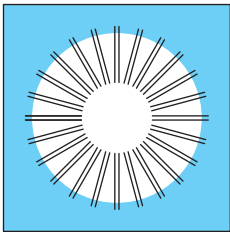
Gangguan presbiopi dapat diatasi dengan menggunakan kacamata berlensa rangkap (kacamata **bifokal**). Lensa positif yang berada di bagian bawah berfungsi melihat benda yang jauh. Sementara, lensa negatif yang berada di bagian atas berfungsi melihat benda yang dekat.

#### d. Astigmatisma

Mungkin kalian pernah menjumpai orang yang memakai kacamata yang bukan kacamata plus (positif) atau kacamata minus (negatif), tetapi kacamata **silindris**. Kacamata silindris ini digunakan untuk membantu penglihatan orang yang mengalami gangguan mata yang disebut **astigmatisma**. Gangguan ini disebabkan oleh keadaan kornea yang tidak bulat benar. Kelainan ini menyebabkan pembiasan sinar yang datang secara horisontal dan vertikal berbeda satu sama lain.

Gejala astigmatisma dapat diuji dengan alat uji seperti Gambar 6.37. Mata yang mengalami astigmatisma akan melihat garis-garis tersebut pada jarak yang sama dalam arah tegak lurus. Selain itu, garis-garis tersebut tampak lebar dan kabur.

Bagaimanakah kita menerapkan persamaan-persamaan pada mata ini? Untuk membantu kalian, perhatikan contoh berikut.



**Gambar 6.37** Gambar untuk menguji mata astigmatisma.

## Contoh

1. Furqon tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang berjarak di bawah 40 cm. Ia ditawarkan temannya kacamata minus 1 dioptri. Jika kalian menjadi Furqon, apakah kalian akan menerima tawaran tersebut? Berapakah kekuatan kacamata yang harus dipakai Furqon agar dapat melihat benda secara normal?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $PP = s_n = 40 \text{ cm}$

**Ditanyakan:**  $P$

**Jawab:**

Karena Furqon tidak dapat melihat dekat (mengalami rabun dekat) maka kacamata yang harus digunakan adalah kacamata

positif. Jadi tawaran teman Furqon tidak dapat menolong.

Kekuatan kacamata yang harus dipakai dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= 4 - \frac{100}{s_n} \\ &= 4 - \frac{100}{40} \\ &= 1,5 \text{ D} \end{aligned}$$

Jadi, kacamata yang harus dipakai Furqon adalah kacamata positif (plus) dengan kekuatan 1,5 dioptri (+1,5).

2. Aminah ingin membelikan kacamata untuk temannya yang hanya dapat melihat benda terjauh pada jarak 3 meter.

Jenis kacamata apakah yang harus dibeli Aminah?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:** mata miopi dengan  $PR = 3 \text{ m}$

**Ditanyakan:** jenis kacamata yang sesuai

**Jawab:**

untuk menentukan kacamata yang sesuai, berarti kita menghitung kekuatan kacamata.

$$P = -\frac{1}{PR}$$

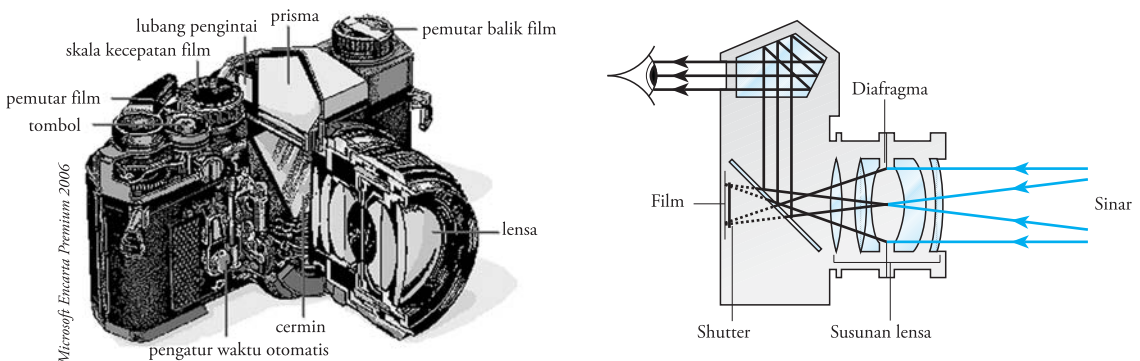
$$= -\frac{1}{3} \text{ D}$$

Jadi, kacamata yang sesuai adalah kacamata negatif dengan kekuatan  $-\frac{1}{3}$  dioptri.

## 2. Kamera

Salah satu cara untuk mengabadikan peristiwa-peristiwa penting dalam kehidupan kita adalah menggunakan kamera. Dengan menggunakan kamera, kita dapat merekam peristiwa dalam bentuk gambar. **Kamera** adalah sebuah alat yang dapat menghasilkan gambar negatif yang kemudian dapat dicetak, sehingga hasilnya dapat kita lihat.

Kamera bekerja seperti mata kita. Komponen-komponen penyusun kamera hampir sama dengan mata kita. Perhatikan Gambar 6.38. Fungsi dari setiap komponen kamera adalah sebagai berikut.



Gambar 6.38 Bagian-bagian kamera dan proses perjalanan cahaya yang masuk kamera.

### a. Diafragma

Diafragma merupakan bagian kamera berupa celah yang berfungsi mengatur jumlah cahaya yang masuk ke kamera. Dengan cara mengubah ukuran celah diafragma, jumlah cahaya yang masuk dapat diatur. Untuk menghasilkan gambar yang baik, celah diafragma harus diatur sedemikian rupa. Jika cahaya terlalu terang celah diafragma dibuat kecil, sebaliknya jika pada ruangan redup, celah cahaya dibuka lebar. Pada kamera yang baik, besarnya celah dinyatakan dengan angka diafragma. Semakin besar angka diafragma, celah yang dihasilkan makin kecil. Sebaliknya, semakin kecil angka diafragma, celah yang terbuka makin lebar. Melihat dari fungsinya, diafragma sama dengan fungsi pupil pada mata.

### b. Lensa positif

Lensa ini terletak di bagian depan kamera. Lensa positif berfungsi mengatur agar cahaya yang masuk dapat diterima dengan baik oleh film. Pengaturan ini dilakukan dengan cara menggerakkan susunan lensa positif menjauhi atau mendekati film. Fungsi lensa ini sama dengan fungsi lensa mata.

### c. Film

Cahaya atau benda yang diterima oleh lensa akan diteruskan ke film dan membentuk bayangan nyata, terbalik, dan diperkecil. Untuk memperoleh gambar foto yang jelas dan tajam, kamera perlu difokuskan. Pemfokusan ini dilakukan dengan cara mengubah kedudukan lensa terhadap benda sesuai dengan jarak benda yang akan difoto. Pada kamera sederhana, kedudukan lensa hanya bisa dilakukan jika pemakai bergerak mendekati atau menjauhi benda sampai diperoleh gambar yang diinginkan. Seiring dengan perkembangan teknologi, pada kamera yang lebih modern, kedudukan lensa dapat diubah dengan memutar cincin pengatur lensa. Bahkan pada terkini, kedudukan lensa dapat diatur dengan teknologi digital.

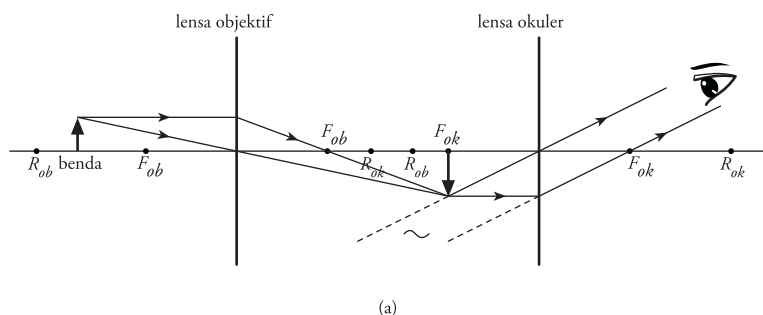
## 3. Mikroskop

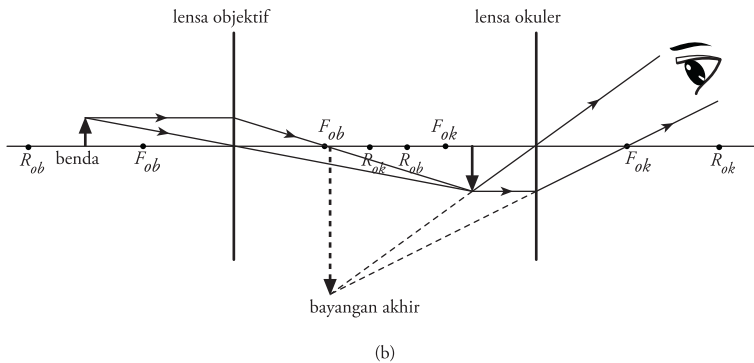


Gambar 6.39 Mikroskop digunakan untuk melihat benda-benda kecil.

Mikroskop digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat kecil, yang tidak dapat dilihat mata biasa. Mikroskop menggunakan dua buah lensa positif (lensa cembung). Lensa yang terletak di dekat mata (lensa bagian atas) disebut **lensa okuler**. Sedangkan lensa yang terletak dekat dengan objek benda yang diamati (lensa bagian bawah) disebut **lensa objektif**. Hal yang perlu diingat adalah fokus pada lensa objektif lebih pendek dari fokus pada lensa okuler ( $f_{ob} < f_{ok}$ ).

Cara kerja mikroskop secara sederhana adalah lensa obyektif akan membentuk bayangan benda yang bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar. Bayangan benda oleh lensa obyektif akan ditangkap sebagai benda oleh lensa okuler. Bayangan inilah yang tampak oleh mata. Jika digambarkan, perjalanan cahaya pada mikroskop tampak pada Gambar 6.40.





**Gambar 6.40** Skema jalannya sinar pada mikroskop. (a) mata tak berakomodasi. (b) Mata berakomodasi maksimum.

Jika dilihat menggunakan mikroskop sebuah benda kecil dapat tampak menjadi puluhan bahkan ratusan kali lipat dari ukuran semula. Setiap mikroskop mempunyai perbesaran yang berbeda-beda tergantung lensa yang digunakan. **Perbesaran mikroskop** merupakan perbandingan sudut pandang ketika melihat benda menggunakan mikroskop ( $\theta'$ ) dengan sudut pandang ketika melihat benda tanpa menggunakan mikroskop ( $\theta$ ). Perbesaran seperti ini disebut perbesaran sudut yang dirumuskan sebagai berikut.

$$m_{\theta} = \frac{\theta'}{\theta}$$

Sebagaimana yang telah disebutkan di atas, mikroskop terdiri atas lensa objektif dan lensa okuler. Maka dapat dikatakan bahwa perbesaran pada mikroskop merupakan perkalian antara perbesaran oleh lensa objektif ( $m_{ob}$ ) dengan perbesaran oleh lensa okuler ( $m_{ok}$ ).


$$M = m_{ob} \times m_{ok}$$


**Keterangan:**  $M$  = perbesaran mikroskop  
 $m_{ob}$  = perbesaran lensa objektif  
 $m_{ok}$  = perbesaran lensa okuler

Perbesaran pada mikroskop tergantung pada daya akomodasi mata. Artinya, ketika kita melihat benda dengan mata berakomodasi akan berbeda dengan tanpa berakomodasi. Jadi, besaran mikroskop terdiri dari **perbesaran untuk mata berakomodasi maksimum** dan **perbesaran untuk mata tidak berakomodasi**. Sebelumnya, untuk mengingat kembali materi yang telah kalian pelajari, coba jelaskan pengertian mata berakomodasi dan mata tak berakomodasi.

#### a. Perbesaran untuk mata berakomodasi maksimum.

Mata dikatakan berakomodasi maksimum jika benda yang dilihat berada pada titik dekat mata. Begitu juga pada mikroskop, agar mata berakomodasi maksimum, maka bayangan yang dihasilkan lensa okuler terletak di depan lensa okuler yang jaraknya sama dengan titik dekat pengamat. Ini berarti:





**Anton van Leeuwenhoek** (1632-1723) adalah seorang ilmuwan Belanda. Ia menggunakan mikroskop lensa tunggal buatannya sendiri untuk menemukan makhluk mikroskopis dalam air. Ia menyebut makhluk itu sebagai "*animalkulum*". Ia juga menyelidiki protozoa dan bakteri. Pada tahun 1665, Robert Hooke mengembangkan mikroskop model baru yang memiliki beberapa lensa. Mikroskop ini mempermudah para ilmuwan untuk melihat mikroba yang sangat kecil.

Burnie, David, 2000, hlm. 12

$$s'_{ok} = -s_n$$

Pada lensa objektif berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$

Perbesaran oleh lensa obyektif dihitung dengan rumus:

$$m_{ob} = \frac{-s'_{ob}}{s_{ob}}$$

Sementara pada lensa okuler berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

Dengan mensubstitusikan  $s'_{ok} = s_n$ , kita dapatkan:

$$\frac{1}{s_{ok}} - \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} + \frac{1}{s_n}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{f_{ok} + s_n}{f_{ok} s_n}$$

$$s_{ok} = \frac{f_{ok} s_n}{f_{ok} + s_n}$$

Perbesaran pada lensa okuler dicari dengan persamaan:

$$m_{ok} = \frac{s'_{ok}}{s_{ok}}$$

$$m_{ok} = \frac{s_n}{\frac{f_{ok} s_n}{f_{ok} + s_n}}$$

$$m_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} + 1$$

Dari hasil perbesaran oleh lensa obyektif dan lensa okuler tersebut didapatkan perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum sebagai berikut.

$$M = m_{ob} \times m_{ok}$$

$$M = -\frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \left( \frac{s_n}{f_{ok}} + 1 \right)$$

Keterangan:  $M$  = perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum.

$s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa obyektif

$s_{ob}$  = jarak benda dari lensa obyektif

$s_n$  = titik dekat mata (25 cm)

$f_{ok}$  = fokus lensa okuler.

## Mikroskop Elektron

Cara kerja mikroskop elektron sedikit berbeda dengan dengan cara kerja mikroskop biasa. Untuk memperbesar obyek, mikroskop elektron tidak menggunakan lensa. Mikroskop ini menembakkan aliran partikel (elektron) dan memperhatikan hasilnya pada layar. Mikroskop transmisi elektron dapat memperbesar benda sampai 1 juta kali lipat.

Farndon, John, 2005, hlm. 29

## b. Perbesaran untuk mata tidak berakomodasi

Mata dikatakan tidak berakomodasi jika benda yang dilihat berada di jauh tak terhingga. Karena lensa yang dekat dengan mata adalah lensa okuler, maka benda pada lensa okuler harus terletak di jauh tak terhingga. Untuk menghasilkan bayangan di tak terhingga, benda harus diletakkan di titik fokus lensa okuler. Jadi, pada lensa okuler berlaku persamaan berikut.

$$S'_{ok} = \infty$$
$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$
$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

Atau,  $s_{ok} = f_{ok}$

Jadi, perbesaran pada lensa okuler dapat dicari dengan persamaan,

$$m_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}}$$

Perbesaran mikroskop untuk mata tanpa berakomodasi dihitung dengan persamaan:

$$M = m_{ob} \times m_{ok}$$
$$M = - \frac{s'_{ob} s_n}{s_{ob} f_{ok}}$$

## c. Panjang Mikroskop

Panjang mikroskop merupakan jarak antara lensa obyektif dan lensa okuler. Seperti yang telah kalian ketahui, bayangan yang dibentuk oleh lensa obyektif menjadi benda untuk lensa okuler. Jarak bayangan lensa obyektif ditambah jarak bayangan tersebut ke lensa okuler menyatakan **panjang mikroskop**. Jadi, panjang mikroskop dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$D = s'_{ob} + s_{ok}$$

**Keterangan:**  $D$  = panjang mikroskop

$s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif

$s_{ok}$  = jarak benda lensa okuler

Untuk pengamatan dengan mata tanpa berakomodasi, bayangan dari lensa objektif harus jatuh di titik fokus lensa okuler. Jadi, panjang mikroskop untuk **mata tidak berakomodasi** adalah:

$$D = s'_{ob} + f_{ok}$$

**Keterangan:**  $s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif

$f_{ok}$  = titik fokus lensa okuler

### Tips & Trik

- Perbesaran untuk mata berakomodasi maksimum merupakan perbesaran maksimum mikroskop.
- Perbesaran mikroskop untuk mata tanpa berakomodasi merupakan perbesaran minimum mikroskop.



Bagaimanakah penerapan persamaan-persamaan yang telah kita pelajari untuk menyelesaikan soal yang terkait dengan mikroskop? Perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Sebuah mikroskop menggunakan lensa objektif dan lensa okuler yang masing-masing dengan fokus 1 cm dan 2 cm. Bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif berada pada jarak 15 cm dari lensa okuler. Tentukan perbesaran total dan panjang mikroskop jika:

- mata berakomodasi maksimum
- mata tidak berakomodasi.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $f_{ob} = 1 \text{ cm}$   
 $f_{ok} = 2 \text{ cm}$   
 $s'_{ob} = 15 \text{ cm}$

**Ditanyakan:** M dan D, jika:

- mata berakomodasi maksimum
- mata tidak berakomodasi

**Jawab:**

- Untuk mata berakomodasi maksimum,
  - Jarak benda dari lensa objektif dicari dengan persamaan:

$$\frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$

$$\frac{1}{s_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{s'_{ob}}$$

$$= \frac{1}{1} - \frac{1}{15}$$

$$= \frac{14}{15}$$

$$s_{ob} = \frac{15}{14} \text{ cm}$$

- Perbesaran oleh lensa obyektif dicari dengan persamaan:

$$M_{ob} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}}$$

$$= \frac{15}{\frac{15}{14}}$$

$$= 14 \text{ kali}$$

- Perbesaran pada lensa okuler dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} M_{ok} &= \frac{s_n}{f_{ok}} + 1 \\ &= \frac{25}{2} + 1 \\ &= 13,5 \text{ kali} \end{aligned}$$

- Perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum,

$$\begin{aligned} M &= M_{ob} \times M_{ok} \\ &= 14 \times 13,5 \\ &= 189 \text{ kali} \end{aligned}$$

Jadi, perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum adalah 189 kali.

- Panjang mikroskop dihitung dengan persamaan:

$$D = s'_{ob} + s_{ok}$$

$s_{ok}$  dicari dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{-s_n} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} + \frac{1}{s_n}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{27}{50}$$

$$s_{ok} = 1,85 \text{ cm}$$

Jadi panjang mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum adalah

$$D = 15 + 1,85$$

$$= 16,85 \text{ cm}$$

Jadi, panjang mikroskop untuk mata berakomodasi adalah 16,85 cm.

- Untuk mata tidak berakomodasi, perbesaran oleh lensa obyektif sama dengan

perbesaran pada mata berakomodasi maksimum.

- Perbesaran oleh lensa okuler dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}m_{ok} &= \frac{s_n}{f_{ok}} \\&= \frac{25}{2} \\&= 12,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Perbesaran mikroskop dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}M &= m_{ob} \times m_{ok} \\&= 14 \times 12,5 \\&= 175 \text{ kali}\end{aligned}$$

Jadi, perbesaran mikroskop untuk mata tidak berakomodasi adalah 175 kali.

- Panjang mikroskop dicari dengan persamaan:

$$D = s'_{ob} + s_{ok}$$

Untuk mata tidak berakomodasi,  $s_{ok}$

$$= f_{ok}, \text{ sehingga,}$$

$$D = 15 + 2$$

$$= 17 \text{ cm}$$

Jadi, panjang mikroskop untuk mata tidak berakomodasi adalah 17 cm.

#### 4. Teropong

Jika pergi ke gunung atau ke pantai, kalian tentu mempunyai keinginan melihat pemandangan yang letaknya jauh. Misalnya, kita ingin melihat puncak gunung berapi. Kalau kita naik ke atas, resiko bahaya sangat besar. Untuk dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya jauh, kita dapat menggunakan alat yang disebut **teropong** atau **teleskop**.

Secara garis besar, teropong dibagi menjadi 2 macam, yaitu teropong bias dan teropong pantul.

##### a. Teropong Bias

Melihat dari jenisnya, teropong ini bekerja dengan membiaskan cahaya yang masuk. Teropong bias tersusun atas beberapa lensa yang berfungsi membiaskan cahaya yang masuk. Secara umum, lensa-lensa pada teropong bias dibagi terdiri dari 2 macam, yaitu lensa okuler dan lensa objektif. Ada 4 jenis teropong bias yang kita kenal. Mari kita bersama-sama mempelajarinya satu per satu.

##### 1) Teropong bintang

Walaupun dinamakan teropong bintang, akan tetapi fungsi teropong ini bukan hanya untuk melihat bintang saja. Teropong dapat juga digunakan untuk mengamati benda-benda angkasa, seperti komet, asteroid, planet, atau benda angkasa lainnya.

Teropong bintang terdiri dari lensa objektif dan lensa okuler. Keduanya menggunakan lensa positif. Seperti halnya pada mikroskop, penggunaan teropong bintang dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan mata berakomodasi maksimum dan mata tanpa akomodasi.



**Gambar 6.41** Teropong bintang ini ditempatkan di Yerkes Observatory di Wisconsin. Lensa objektif yang digunakan berdiameter 102 cm dan panjang tabungnya 19 cm.

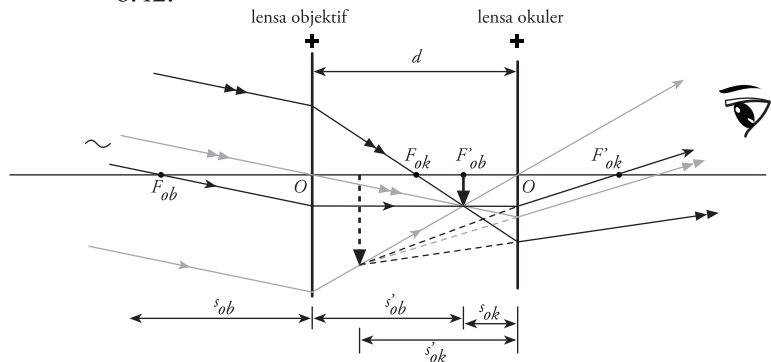
Prinsip-prinsip dasar optik untuk teleskop pertama kali dijelaskan oleh ilmuwan Inggris **Roger Bacon** pada abad ke-13. Kemudian, tahun 1608, Hans Lippershey dari Belanda tercatat sebagai penemu teleskop pertama, saat ia melihat sebuah objek yang jauh jadi tampak lebih dekat, melalui lensa konfok dan lensa konfeks yang diletakkan saling berhadapan. Teleskop mula-mula digunakan untuk tujuan militer, bukan untuk melakukan observasi terhadap langit. Penggunaan teleskop untuk tujuan ilmiah, pertama kali dilakukan oleh ilmuwan Italia, **Galileo Galilei**. Di tahun 1609, dengan menggunakan teleskop buatannya sendiri yang mampu membesarkan tampilan objek hingga 20 kali, Galileo menemukan empat satelit yang mengelilingi planet Jupiter. Di akhir tahun berikutnya, ia menggunakan teleskopnya untuk menyimpulkan bahwa galaksi Bima Sakti adalah sekumpulan bintang-bintang yang tak terhitung. Selain itu, ia juga melihat lubang hitam di matahari serta peta permukaan Bulan.



Salah satu teleskop yang digunakan oleh Galileo

Microsoft Encarta Premium 2006

- a) Penggunaan dengan mata berakomodasi maksimum  
Syarat untuk penggunaan dengan mata berakomodasi maksimum adalah bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler jatuh di titik dekat mata ( $s'_{ok} = -s_n$ ). Perhatikan skema pembentukan bayangan oleh teropong bintang pada gambar 6.42.



Gambar 6.42 Skema pembentukan bayangan oleh teropong bintang dengan mata berakomodasi maksimum.

Teropong bintang digunakan untuk melihat benda-benda angkasa yang jaraknya sangat jauh. Oleh karena itu, jarak benda pada lensa obyektif terletak pada jarak tak terhingga. Jadi, pada lensa obyektif berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s_{ob}} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s'_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}}$$

$$s'_{ob} = f_{ob}$$

Agar mata berakomodasi maksimum, bayangan pada lensa okuler terletak di titik dekat mata ( $s'_{ok} = -s_n$ ). Jadi, pada lensa okuler berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{-s_n} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}} + \frac{1}{s_n}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} = \frac{s_n + f_{ok}}{f_{ok} \cdot s_n}$$

$$s_{ok} = \frac{f_{ok} \cdot s_n}{f_{ok} + s_n}$$

Perbesaran angular pada teropong bintang merupakan perbandingan sudut penglihatan menggunakan teropong

bintang ( $\theta$ ) dengan sudut penglihatan tanpa menggunakan teropong bintang ( $\theta'$ ). Jadi, perbesaran anguler pada teropong bintang dihitung dengan persamaan:

$$m_{\theta} = \gamma = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta}$$

$$m_{\theta} = \frac{\text{besar bayangan} / s_{ok}}{\text{besar bayangan} / s'_{ob}}$$

$$m_{\theta} = \frac{s'_{ob}}{s_{ok}}$$

$$m_{\theta} = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Perbesaran sudut ini merupakan perbesaran total oleh teropong bintang. Jadi, perbesaran pada teropong bintang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Keterangan:  $m_{\theta}$  = perbesaran anguler  
 $M$  = perbesaran lateral  
 $s_{ob}$  = jarak benda lensa objektif  
 $s_{ok}$  = jarak benda lensa okuler  
 $s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif =  $s_{ok}$   
 $s'_{ok}$  = jarak bayangan lensa okuler  
 $f_{ob}$  = jarak fokus lensa objektif  
 $f_{ok}$  = jarak fokus lensa okuler

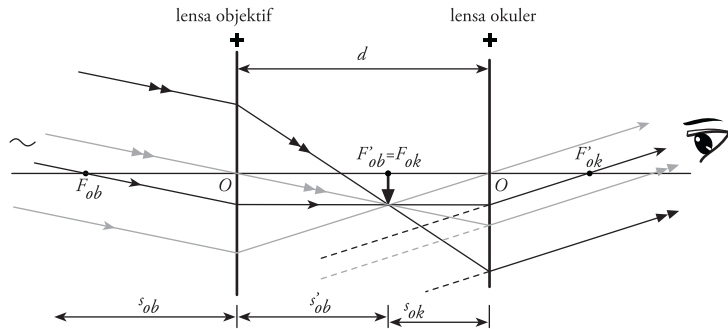
Sementara itu, **panjang teropong** dapat ditentukan dengan mengukur jarak antara lensa objektif dan lensa okuler. Oleh karena itu panjang teropong saat penggunaan dengan mata berakomodasi maksimum sesuai dengan persamaan,

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

$$d = f_{ob} + s_{ok}$$

b) Penggunaan dengan mata tanpa akomodasi

Pengamatan dengan mata berakomodasi menyebabkan mata cepat lelah. Untuk menghindari mata cepat lelah, dalam melakukan pengamatan dilakukan tanpa akomodasi (dengan santai). Untuk mata tidak berakomodasi, bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler berada pada titik jauh mata ( $s'_{ok} = \infty$ ). Skema pembentukan bayangan oleh teropong bintang untuk mata tidak berakomodasi dapat kalian lihat pada Gambar 6.43.



**Gambar 6.43** Skema pembentukan bayangan oleh teropong bintang untuk mata tidak berakomodasi.

Untuk lensa objektif, benda terletak di jauh tak hingga, sehingga berlaku persamaan:

$$s'_{ob} = f_{ob}$$

Untuk lensa okuler, bayangan terbentuk di titik jauh mata ( $s'_{ok} = \infty$ ), sehingga berlaku persamaan:

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{s'_{ok}} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$\frac{1}{s_{ok}} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f_{ok}}$$

$$s_{ok} = f_{ok}$$

Perbesaran bayangan pada teropong bintang dinyatakan oleh perbesaran anguler ( $m_\theta$ ).

$$m_\theta = \gamma = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta}$$

$$m_\theta = \frac{\text{besar bayangan} / s_{ok}}{\text{besar bayangan} / f_{ob}}$$

$$m_\theta = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

$$m_\theta = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

Jadi, perbesaran oleh teropong bintang untuk mata tidak berakomodasi dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

**Panjang teropong** untuk mata tanpa akomodasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$d = f_{ob} + f_{ok}$$

## 2) Teropong bumi

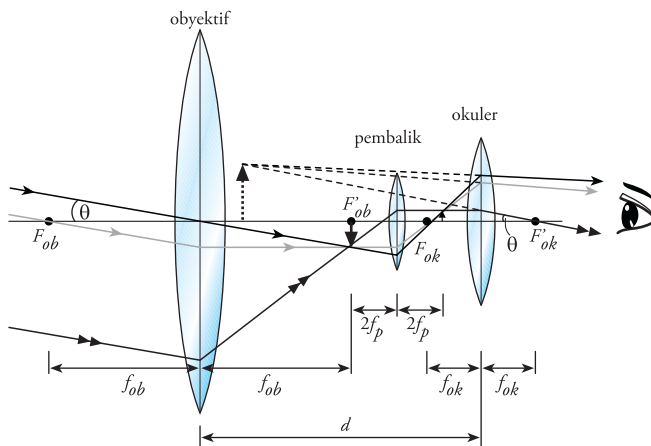
Teropong bumi disebut juga **teropong medan** atau **teropong yohana**. Teropong jenis ini biasa digunakan oleh orang-orang di laut, seperti nakhoda kapal, angkatan laut, bahkan para bajak laut zaman dulu. Selain itu, teropong ini juga dapat digunakan di daratan. Misalkan para tentara menggunakan teropong ini untuk memantau keadaan di perbukitan. Contoh teropong bumi dapat kalian lihat pada Gambar 6.44.



www.trendigital.com

Berbeda dengan teropong bintang, teropong bumi menggunakan tiga lensa positif. Ketiga lensa tersebut berfungsi sebagai **lensa obyektif**, **lensa okuler**, dan **lensa pembalik**. **Lensa pembalik** berfungsi untuk membalik bayangan akhir yang dibentuk lensa okuler, sehingga dihasilkan **bayangan yang sama tegak** dengan benda aslinya. Lensa pembalik diletakkan di antara lensa obyektif dan lensa okuler. Skema pembentukan bayangan pada teropong bumi dapat kalian lihat pada Gambar 6.45. Coba simak dan pelajailah gambar tersebut.

Gambar 6.44 Teropong bumi disebut juga teropong medan atau teropong yohana.



Gambar 6.45 Skema pembentukan bayangan pada teropong bumi

Ciri khas dari teropong bumi adalah jarak fokus lensa obyektif lebih besar daripada jarak fokus lensa okuler ( $f_{ob} > f_{ok}$ ). Di antara lensa obyektif dan lensa okuler diletakkan **lensa pembalik**. Karena teropong bumi digunakan untuk melihat benda-benda yang jauh, sehingga bayangan terbentuk di titik fokus lensa objektif. Agar bayangan tegak, maka teropong bumi dilengkapi dengan lensa pembalik.

Seperti halnya mikroskop dan teropong bintang, perbesaran pada teropong bumi juga dibedakan untuk mata berakomodasi dan mata tidak berakomodasi.

- Untuk mata berakomodasi maksimum, perbesaran angular pada teropong bumi dicari dengan persamaan:

$$M_{\theta} = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Panjang teropong untuk mata berakomodasi maksimum dapat dicari dengan persamaan:

$$d = f_{ob} + 4f_p + s_{ok}$$



www.gerhard-optik.de

Gambar 6.46 Teropong panggung.

**Keterangan:**  $m_{\theta}$  = perbesaran angular

$f_{ob}$  = besar fokus lensa obyektif

$s_{ok}$  = jarak benda pada lensa okuler

$f_p$  = besar fokus lensa pembalik

- Untuk mata tidak berakomodasi, bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif berada tepat di titik fokus lensa okuler. Ini berarti jarak benda lensa okuler sama dengan jarak fokusnya. Jadi, perbesaran untuk mata tidak berakomodasi adalah:

$$M_{\theta} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

Sementara panjang teropong untuk mata tidak berakomodasi adalah:

$$d = f_{ob} + 4f_p + f_{ok}$$

### 3) Teropong panggung

Teropong bumi dilengkapi dengan lensa pembalik. Akibatnya teropong bumi cukup panjang. Karena kurang efisien dalam membawanya, maka dibuatlah teropong lain yang lebih simpel. Antara lain teropong panggung dan teropong prisma.

Teropong panggung dikenal juga dengan sebutan **teropong Galileo**. Teropong panggung terdiri dari dua buah lensa. Lensa objektif berupa lensa cembung, akan tetapi lensa okulernya menggunakan lensa cekung. Ini berbeda dengan mikroskop atau teropong bumi yang lensa obyektif dan okulernya berupa lensa cembung.

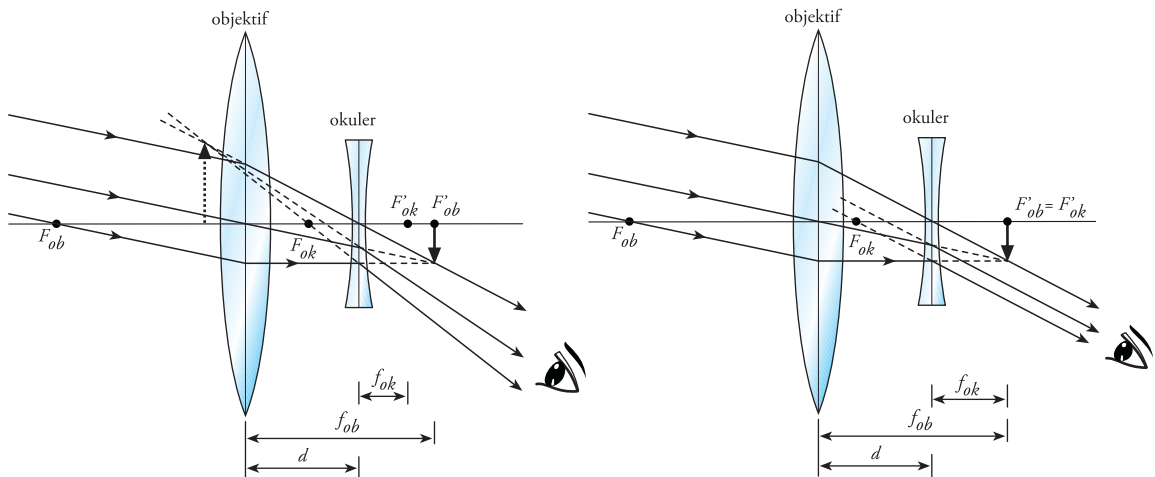
Saat ini teropong panggung banyak sekali digunakan. Bahkan untuk versi bagi anak-anak cukup banyak. Dengan kata lain, teropong ini banyak dijual bebas. Pembentukan bayangan pada teropong panggung dapat dilihat pada Gambar 6.47.

## Mozaik

### Teropong Galileo di Nusantara

Nusantara ternyata termasuk wilayah yang mula-mula menggunakan teropong Galileo. Pada tahun 1652, sebuah kapal tiba di Makasar membawa teropong tersebut. Siapa pemesannya? Ternyata dia adalah Perdana Menteri Kerajaan Gowa, **Karaeng Pattingaloang**. Padahal, teropong Galileo baru ditemukan pada tahun 1609, dan masih sangat sedikit digunakan, bahkan di Inggris sekalipun. Memang, pada masa itu Karaeng Pattingaloang dikenal sebagai negarawan Asia Tenggara yang sangat bergairah terhadap ilmu pengetahuan, serta serius mengikuti perkembangan mutakhir ledakan ilmu pengetahuan Eropa.

Reid, Anthony, 2004, hlm. 196.



**Gambar 6.47** Skema pembentukan bayangan pada teropong panggung, (a) untuk mata berakomodasi maksimum, dan (b) untuk mata tidak berakomodasi.

Perbesaran angular untuk teropong panggung dalam penggunaan dengan **mata tanpa akomodasi** dicari dengan persamaan berikut.

$$M_{\theta} = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Sedangkan perbesaran dalam penggunaan dengan **mata berakomodasi** maksimum dihitung dengan persamaan:

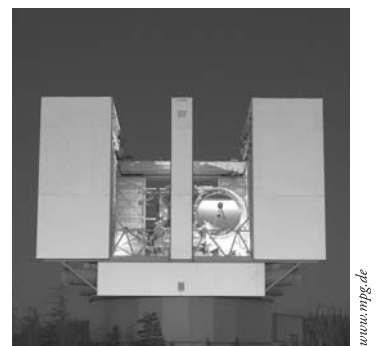
$$M_{\theta} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

Panjang teropong panggung adalah jarak antara lensa obyektif dengan lensa okuler. Panjang teropong panggung dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$d = f_{ob} - f_{ok}$$

#### 4) Teropong prisma

Selain tiga teropong yang telah kita bahas, teropong bias lainnya yaitu teropong prisma atau **teropong binokuler**. Teropong prisma mempunyai kesamaan dengan teropong bumi, yaitu mempunyai lensa pembalik. Akan tetapi lensa pembalik pada teropong prisma berupa **sepasang prisma siku-siku**. Prisma diletakkan di antara lensa obyektif dan lensa okuler. Prisma ini digunakan untuk membalikkan bayangan yang dihasilkan oleh lensa obyektif, sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler (dalam teropong prisma berupa lensa cekung) akan tegak. Sinar yang masuk ke dalam teropong akan dipantulkan sempurna oleh prisma.



**Gambar 6.48** Teropong prisma atau teropong binocular.





telescopesandbinoculars.co.uk

**Gambar 6.49** Teropong pemantul.

## Mozaik

**Sir William Herschel** (1738-1822) adalah seorang ahli astronomi yang paling sukses di abad ke-18. Dia telah membangun teleskop reflektor (teopong pemantul) yang paling canggih di zamannya. Ucapannya yang terkenal adalah "Ahli astronomi yang tidak beriman pasti gila".

Harun Yahya,

## b. Teropong pantul

Teropong pantul merupakan teropong yang dilengkapi dengan cermin. Cermin ini berfungsi memantulkan cahaya yang masuk. Walaupun dipasang cermin, tetapi seperti halnya teropong bias, di teropong pantul juga terdapat lensa. Teropong pantul bekerja dengan memantulkan sinar yang masuk.

Teropong pantul menggunakan cermin cekung besar untuk menangkap cahaya sebanyak-banyaknya. Selain itu, teropong pantul juga dilengkapi cermin datar yang terletak di depan titik fokus cermin cekung, dan juga terdapat sebuah lensa yang digunakan untuk mengamati objek.

Penggunaan cermin cekung bertujuan untuk mengganti penggunaan lensa. Keuntungan penggunaan cermin dibanding dengan lensa pada teropong adalah sebagai berikut.

- 1) Cermin tidak mengalami abrasi kromatik (penguraian warna seperti pada prisma) seperti yang biasa terjadi pada lensa.
- 2) Cermin lebih murah dan lebih mudah di buat, selain itu juga lebih ringan.

Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, penggunaan cermin cekung lebih efisien daripada penggunaan lensa. Teleskop pemantul banyak digunakan pada badan-badan astronomi dan observatorium terkenal di dunia. Bahkan sekarang sudah banyak universitas-universitas yang memiliki teropong ini.

## 5. Lup

Pada waktu duduk di bangku SMP atau MTs, kalian mungkin pernah menggunakan lup. Dengan menggunakan lup, benda-benda yang kecil dapat terlihat lebih jelas dan besar. Lup biasanya dipakai oleh tukang reparasi arloji untuk membantu dalam pekerjaannya.

Lup disebut juga sebagai **kaca pembesar** atau **suryakanta**. Lup sebenarnya hanyalah sebuah lensa cembung yang ditutupi oleh bingkai dipinggirnya.

Perbesaran yang terjadi pada lup adalah perbesaran angular (perbesaran sudut). Secara matematis, perbesaran angular pada lup dituliskan sebagai berikut.

$$m_{\theta} = \gamma = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta}$$

**Keterangan:**  $m_{\theta}$  = perbesaran sudut (angular)

$\theta$  = sudut penglihatan tanpa menggunakan lup

$\theta'$  = sudut penglihatan dengan menggunakan lup

Untuk sinar-sinar yang dekat dengan sumbu utama (sinar paraksial), nilai tangen hampir sama dengan nilai sudutnya, sehingga:

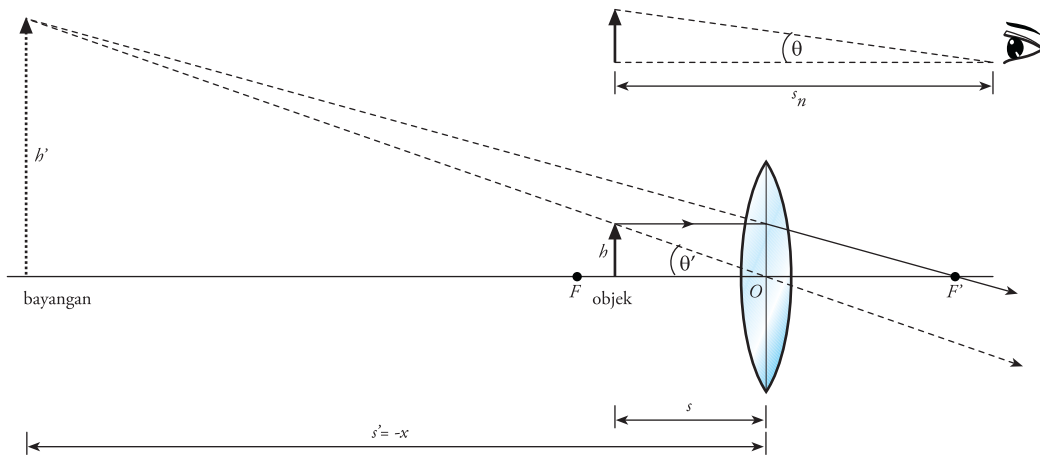
$$\tan \theta' = \theta' \text{ dan } \tan \theta = \theta$$

$$m_{\theta} = \gamma = \frac{\theta'}{\theta}$$



**Gambar 6.50** Dengan menggunakan lup tulisan yang kecil tampak lebih besar.

Seperti halnya pada mikroskop dan teropong, pembentukan bayangan pada lup juga dipengaruhi keadaan mata saat menggunakannya.



Gambar 6.51 Skema jalannya cahaya pada lup

#### a. Untuk mata tanpa akomodasi

Untuk mata tanpa akomodasi, benda yang akan diamati diletakkan pada jarak fokus lup ( $f$ ). Jadi, pada keadaan ini berlaku:

$$s = f$$

Karena benda di titik fokus lensa, maka bayangan yang terbentuk terletak di tak terhingga, sehingga sudut penglihatan tanpa lup dicari dengan persamaan:

$$\theta = \frac{h}{s_n}$$

**Keterangan:**  $h$  = tinggi benda (besar benda)

$s_n$  = titik dekat mata (25 cm)

Sedangkan sudut benda ketika menggunakan lup adalah:

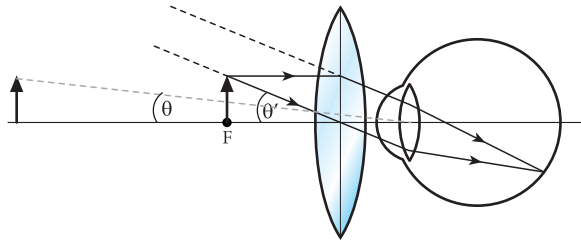
$$\theta' = \frac{h}{f}$$

Dengan demikian, perbesaran angular oleh lup untuk mata tidak berakomodasi dapat dihitung dengan rumus

$$m_\theta = \frac{\theta'}{\theta}$$

$$m_\theta = \frac{h/f}{h/s_n}$$

$$m_\theta = \frac{s_n}{f}$$



Gambar 6.52 Pembentukan bayangan pada lup dengan mata tanpa akomodasi.

### b. Untuk mata berakomodasi maksimum

Pada pengamatan dengan mata berakomodasi maksimum, bayangan yang terbentuk harus berada di titik dekat mata. Jadi, pada kasus ini sudut penglihatan pada lup adalah:

$$\theta = \frac{h}{s_n}$$

Berdasarkan Hukum Pembiasan, kita memperoleh persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{s} + \frac{1}{-s_n} &= \frac{1}{f} \\ \frac{1}{s} &= \frac{s_n + f}{s_n f}\end{aligned}$$

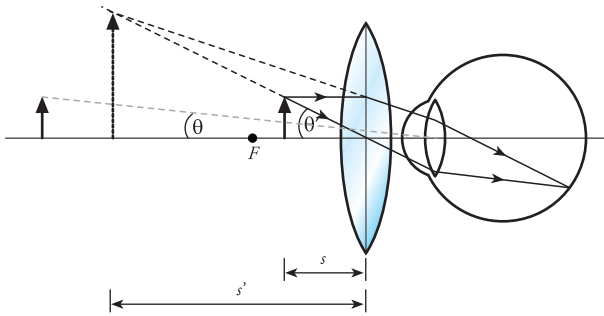
Dari persamaan tersebut, kita mendapatkan sudut penglihatan dengan menggunakan lup sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\theta' &= \frac{h}{s} \\ \theta' &= \left( \frac{s_n + f}{s_n f} \right) h\end{aligned}$$

Jadi, perbesaran angular oleh lup untuk mata berakomodasi maksimum dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}m_\theta &= \frac{\theta'}{\theta} \\ m_\theta &= \left[ \left( \frac{s_n + f}{s_n f} \right) h \right] \times \frac{s_n}{h} \\ m_\theta &= \frac{s_n + f}{f} \\ m_\theta &= \frac{s_n}{f} + 1\end{aligned}$$

Untuk mata normal, nilai  $s_n$  (jarak baca normal) adalah 25 cm.



Gambar 6.53 Pembentukan bayangan pada lup untuk mata berakomodasi maksimum.

Bagaimanakah penggunaan persamaan dalam lup? Simaklah contoh berikut.

## Contoh

Seorang siswa melihat sebuah benda kecil dengan menggunakan lup yang berjarak fokus 10 cm. Jika benda diletakkan di titik fokus lup, tentukan perbesaran lup.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $f = 10 \text{ cm}$   
 $s = 10 \text{ cm}$

**Ditanyakan:**  $m_\theta$

**Jawab:**

Jika benda diletakkan di titik fokus lensa, maka pengamat mengamati dengan mata tidak

berakomodasi. Jadi, perbesarannya dapat dicari dengan persamaan,

$$\begin{aligned} M &= \frac{S_n}{f} \\ &= \frac{25}{10} \\ &= 2,5 \text{ kali} \end{aligned}$$

Jadi, perbesaran bayangannya adalah 2,5 kali.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi tentang alat-alat optik, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



## Ekspedisi

Dengan membaca dari pelbagai referensi, baik internet maupun media cetak, carilah informasi sebanyak-banyaknya tentang sejarah perkembangan kamera, mikroskop, dan teropong. Ada beberapa hal yang perlu dicantumkan dalam penelusuran, antara lain,

a. penemuan alat optik tersebut untuk pertama kalinya,

b. kelemahan dan kelebihan setiap tahap perkembangan alat optik,

c. perkembangan alat optik tersebut sekarang. Presentasikan dan bandingkan hasil penelusuran kalian dengan hasil teman lainnya.

Untuk mengetahui tingkat penguasaan kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari setiap bagian mata. Sebutkan pula jenis-jenis gangguan penglihatan dan cara mengatasi gangguan mata tersebut.
2. Seorang penderita hipermetropi memiliki titik dekat 30 cm. Tentukan jenis dan kekuatan lensa agar dapat melihat benda seperti orang normal.
3. Seorang wartawan memotret seorang bintang sepak bola yang tingginya 1,8 m. Lensa pada kamera memiliki jarak fokus 35 cm. Berapa tinggi bintang sepakbola itu dalam film, jika wartawan tersebut memotret dari jarak 5 m?
4. Sebuah preparat klorofil dilihat dengan mikroskop yang mempunyai lensa objektif berjarak fokus 20 mm dan lensa okuler berjarak fokus 45 mm. Panjang mikroskop 20 cm dan panjang bayangan akhir dari preparat tersebut adalah 3,5 mm. Tentukan perbesaran lensa objektif, perbesaran total, dan panjang preparat sesungguhnya, jika:
  - a. dilihat dengan mata tidak berakomodasi
  - b. dilihat dengan mata berakomodasi maksimum.
5. Seorang ilmuwan sedang menyelidiki sebuah bintang dengan menggunakan teropong bintang. Akibatnya, bintang yang diamati tampak 200 kali lebih besar untuk mata tidak berakomodasi. Jika panjang fokus lensa okuler yang digunakan adalah 100 cm, tentukan:
  - a. panjang fokus lensa obyektif,
  - b. perbesaran lensa obyektif,
  - c. perbesaran lensa okuler
6. Seorang tukang reparasi jam menggunakan lup untuk melihat komponen jam. Ia melihat komponen jam sepanjang 1 cm. Kekuatan lup yang digunakan 5 dioptri. Tentukan panjang komponen yang sesungguhnya, jika:
  - a. ia melihat tanpa berakomodasi,
  - b. ia melihat dengan akomodasi maksimum.

1. Hubungan jarak benda, jarak bayangan, dan fokus pada cermin cekung dirumus sebagai berikut.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\text{atau } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

2. Perbesaran bayangan pada cermin cekung (M) dirumuskan sebagai berikut.

$$M = \left| \frac{h'}{h} \right| = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

3. Persamaan pada cermin cembung dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{-f}$$

$$\text{atau } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{-R}$$

4. Menurut Hukum Snellius Perbandingan sinus sudut datang dengan sinus sudut bias pada dua medium berbeda merupakan bilangan tetap yang disebut indeks bias. Pernyataan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

5. Untuk pembiasan pada permukaan lengkung sferis berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

6. Persamaan-persamaan yang berlaku pada lensa adalah:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\text{atau } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Dengan catatan, f dan R pada lensa cekung bernilai negatif.

7. Kekuatan lensa dirumuskan sebagai:

$$P = \frac{1}{f}$$

$$\text{atau, } P = \frac{100}{f}$$

8. Menurut hukum pembiasan, apabila indeks bias prisma adalah  $n_p$  dan indeks bias medium di sekitar prisma adalah  $n_u$ , maka berlaku persamaan:

$$n_u \sin \theta_1 = n_p \sin \theta_2$$

$$n_u \sin \frac{1}{2} (\beta + \delta_{\min}) = n_p \sin \frac{1}{2} \beta$$

Untuk sudut pembias ( $\beta$ ) kecil ( $\beta \leq 15^\circ$ ) maka deviasi minimum dapat dicari dengan persamaan:

$$\delta'_{\min} = \left( \frac{n_p}{n_u} - 1 \right) \beta$$

9. Perbesaran pada mikroskop merupakan perkalian antara perbesaran oleh lensa obyektif ( $m_{ob}$ ) dengan perbesaran oleh lensa okuler ( $m_{ok}$ ).

$$M = m_{ob} \times m_{ok}$$

10. Perbesaran pada teropong bintang untuk mata berakomodasi maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Sedangkan panjang teropong untuk mata berakomodasi maksimum sesuai dengan rumus:

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

$$d = f_{ob} + s_{ok}$$

Sementara itu untuk mata yang tidak berakomodasi berlaku persamaan:

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

11. Perbesaran pada lup untuk mata berakomodasi maksimum dihitung dengan persamaan:

$$M_\theta = \frac{s}{f}$$

Sedangkan untuk mata tidak berakomodasi dicari dengan persamaan:

$$m_\theta = \frac{s}{f} + 1$$

## Telaah Istilah

**Akomodasi** Kemampuan mata untuk mencembung atau memipih sesuai dengan kebutuhan

**Berkas cahaya** Cahaya yang bergerak menurut garis lurus

**Divergen** Sifat cermin atau lensa yang menyebar kan cahaya atau sinar

**Indeks bias** Bilangan yang menunjukkan perbandingan cepat rambat cahaya pada udara dengan cepat rambat di medium

**Konvergen** Sifat cermin atau lensa yang mengumpulkan cahaya

**Lensa** Benda bening yang dapat membiaskan cahaya

**Mikroskop** Alat optik yang berfungsi untuk melihat benda-benda kecil (mikro)

**Optika geometri** Ilmu yang mempelajari sifat cahaya, seperti pemantulan dan pembiasan

**Perbesaran bayangan** Perbandingan besar bayangan dengan benda aslinya

**Pembiasan cahaya** Peristiwa pembelokan arah rambat cahaya setelah melewati medium

**Punctum proksimum** Titik dekat mata, yaitu titik terdekat yang dapat dilihat mata dengan jelas

**Punctum remotum** Titik jauh mata, yaitu titik terjauh yang dapat dilihat mata dengan jelas

## Ulangan Harian

### A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

- Sifat bayangan yang dibentuk cermin datar adalah . . . .
  - maya
  - nyata
  - ukuran bayangan < ukuran benda
  - jarak bayangan = 0
  - terbalik
- Sinar datang yang sejajar sumbu utama cermin cekung akan . . . .
  - dipantulkan kembali
  - dipantulkan sejajar sumbu utama
  - dipantulkan menuju titik fokus
  - dipantulkan seolah-olah dari titik fokus
  - dibiaskan
- Sebuah cermin cembung mempunyai jari-jari kelengkungan sebesar 50 cm. Jika sebuah objek diletakkan pada jarak 20 cm di depan cermin, bayangan terletak pada . . . .
  - 10,1 cm di belakang cermin
  - 10,1 cm di depan cermin
  - 11,1 cm di belakang cermin
  - 11,1 cm di depan cermin
  - 12,1 cm di depan cermin
- Sebuah benda diletakkan di muka lensa cembung dengan jarak fokus 10 cm. Jika bayangan yang terbentuk tegak diperbesar 4 kali, maka jarak benda dari lensa adalah . . . .
  - 4,5 cm
  - 6,5 cm
  - 7,5 cm
  - 9,5 cm
  - 12,5 cm
- Lensa cekung dan lensa cembung masing-masing berjarak fokus 2 cm dan 4 cm digabungkan. Jarak fokus gabungan dari dua lensa tersebut adalah . . . cm.
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
- Sebuah plat besi sepanjang 10 cm di letakkan di depan lensa konvergen berkekuatan 4 dioptri. Ujung plat yang terdekat dengan lensa jaraknya 40 cm

- dari lensa. Panjang bayangan yang terjadi adalah . . . cm
- 12,48
  - 14,00
  - 15,67
  - 15,95
  - 16,67
7. Seekor kelinci dengan tinggi 0,25 m berada pada jarak 60 cm dari lensa cembung yang mempunyai titik api 50 cm. Tinggi bayangan kelinci tersebut adalah . . . cm.
- 25
  - 50
  - 75
  - 100
  - 125
8. Sebuah lensa cembung saat dimasukkan ke dalam zat cair jarak fokusnya 35cm. Saat di udara jarak fokusnya 15cm. Jika indeks bias lensa 1,2, maka indeks bias zat cair adalah. . . .
- 1,0
  - 1,1
  - 1,2
  - 1,3
  - 1,4
9. Suatu sinar datang ke permukaan kaca dengan sudut datang  $30^\circ$ . Kemudian sinar tersebut dibiaskan dengan sudut bias  $15^\circ$ . Besar sudut deviasi biasan adalah . . .
- $15^\circ$
  - $-15^\circ$
  - $45^\circ$
  - $-45^\circ$
  - $135^\circ$
10. Suatu cahaya datang dari medium X ke medium Y dengan sudut datang  $30^\circ$  dan dibiaskan dengan sudut  $60^\circ$ . Indeks bias relatif medium X terhadap Y adalah . . .
- $\frac{1}{2}\sqrt{3}$
  - $\sqrt{3}$
  - $\frac{1}{2}\sqrt{2}$
  - $\sqrt{2}$
  - $\frac{1}{2}$
11. Sebuah senter dinyalakan dan diarahkan ke permukaan air dengan sudut  $45^\circ$  terhadap garis normal. Jika sinar senter tersebut dipantulkan lagi dengan menggunakan cermin yang diletakkan di dalam air menuju permukaan, sinar akan keluar permukaan air dengan sudut . . .
- $30^\circ$
  - $45^\circ$
  - $60^\circ$
  - $90^\circ$
  - $180^\circ$
12. Seorang siswa hanya dapat melihat dengan jelas benda yang letaknya 2 m dari mata. Kekuatan kacamata yang harus digunakan agar siswa dapat melihat benda-benda yang letaknya jauh dengan jelas adalah . . .
- 1,5 dioptri
  - 1,5 dioptri
  - 1 dioptri
  - 0,5 dioptri
  - 0,5 dioptri
13. Sebuah mikroskop memiliki lensa obyektif dan anguler dengan fokus masing-masing 0,8 cm dan 5 cm. Seorang siswa sedang mengamati jaringan daun dengan mikroskop tersebut. Jika jaringan daun tersebut mempunyai panjang 0,5 mm dan jarak mata siswa tersebut normal, panjang jaringan daun tersebut tampak sepanjang . . .
- 7,5 mm
  - 10 mm
  - 12,5 mm
  - 15 mm
  - 20 mm
14. Sebuah teropong diarahkan ke bintang, dan menghasilkan perbesaran 20 kali. Jarak fokus lensa obyektif teropong adalah 100 cm. Panjang teropong adalah . . .
- 120 cm
  - 105 cm
  - 100 cm
  - 95 cm
  - 80 cm
15. Seorang tukang reparasi arloji menggunakan alat bantu berupa lensa positif yang mempunyai jarak fokus 5 cm. Lensa ini dipakai di dekat mata. Jarak antara mata dengan bagian mesin arloji yang diperbaiki untuk menghasilkan perbesaran maksimal adalah . . . cm
- 1,17
  - 2,17
  - 3,17
  - 4,17
  - 5,17



**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

1. Jelaskan bunyi Hukum Snellius tentang pemantulan dan pembiasan.
2. Sebutkan dan gambarkan sinar-sinar istimewa pada:
  - a. cermin cembung
  - b. cermin cekung
  - c. lensa cembung
  - d. lensa cekung
3. Dua buah cermin datar A dan B saling berhadapan dan membentuk sudut  $60^\circ$ . Seberkas sinar menuju cermin A dengan sudut datang  $60^\circ$  hingga dipantulkan ke cermin B. Tentukan sudut pantul sinar ketika meninggalkan cermin B.
4. Sebuah lensa berjarak fokus 2,5 cm digunakan sebagai lup. Jika mata normal menggunakan lup tersebut dengan akomodasi maksimum, tentukan perbesaran sudutnya.
5. Suatu sistem optik dari dua permukaan sferis membentuk sebuah bola berjari-jari 6 cm. Indeks bias bahan bola tersebut 1,5. Sebuah benda B terletak 3 cm di permukaan bola. Tentukan letak bayangan akhir benda B.
6. Indeks bias udara besarnya 1, indeks bias air  $4/3$ , dan indeks bias suatu lensa tipis 2. Jika di udara, lensa tipis kekuatannya adalah 5 dioptri. Tentukan kekuatan lensa di dalam air.
7. Seorang polisi lalu-lintas mengamati keaslian STNK kendaraan dengan menggunakan lup berkekuatan 12 dioptri. Apabila polisi itu memiliki titik dekat mata 30 cm dan ingin memperoleh perbesaran sudut maksimum, tentukan jarak STNK dari lup.
8. Sebutkan dan jelaskan gangguan-gangguan pada mata.
9. Sebuah teropong bumi tersusun dari lensa objektif dengan jarak fokus 10 cm, lensa okuler dengan jarak fokus 6 cm, dan lensa pembalik dengan jarak fokus 2 cm. Tentukan:
  - a. perbesaran sudut untuk mata berakomodasi maksimum,
  - b. perbesaran sudut untuk mata tidak berakomodasi,
  - c. panjang teropong untuk mata berakomodasi maksimum,
  - d. panjang teropong untuk mata tidak berakomodasi.
10. Sebuah mikroskop dilengkapi dengan sebuah lensa objektif ( $f_{ob} = 5$  cm) dan lensa okuler ( $f_{ok} = 10$  cm). Tentukan:
  - a. perbesaran total mikroskop,
  - b. panjang mikroskop.

## B a b VII

# Suhu dan Kalor



*dok. PIM*

**B**erkemah di daerah pegunungan sungguh menyenangkan. Ketika malam tiba, udara terasa begitu dingin. Ketika udara dingin, tubuh biasanya akan menggigil. Nah, menyalakan api unggun merupakan salah satu cara untuk mengurangi hawa dingin ini. Selain itu, dengan mengenakan jaket tebal, badan akan terasa lebih hangat. Ini merupakan salah satu contoh yang berkaitan dengan konsep suhu dan kalor. Ingin tahu lebih banyak mengenai konsep tersebut? Simaklah dengan sungguh-sungguh setiap penjelasan yang diberikan di bab ini.



Di bab ini, kita akan mempelajari keterkaitan antara suhu dengan kalor serta pengaruhnya terhadap wujud benda. Dengan melakukan pengamatan dan percobaan sederhana, kalian diharapkan mampu menganalisis pengaruh kalor terhadap perubahan suhu dan wujud benda. Selain itu, kemampuan untuk menganalisis pengaruh kalor terhadap ukuran benda juga perlu dikuasai. Setelah menyelidiki pengaruh kalor terhadap benda, kita akan mempelajari cara perpindahan kalor, baik secara konduksi, konveksi, maupun radiasi. Dengan melakukan diskusi, kalian diharapkan mampu membedakan ketiga cara perpindahan tersebut dan dapat memberikan contoh dalam kehidupan sehari-hari. Bahasan selanjutnya adalah mengenai Asas Black yang menjelaskan tentang jumlah kalor yang diserap dan dilepas oleh sebuah benda. Cara penggunaan kalorimeter untuk mencari kalor jenis suatu benda juga perlu kalian kuasai dengan baik.

## A Suhu dan Kalor

Istilah suhu sudah sering kalian gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Namun, terkadang kita mengacaukan pengertian suhu sebagai panas. Padahal suhu dan panas adalah dua hal yang berbeda, walaupun keduanya mempunyai kaitan yang sangat erat. Nah, untuk mengetahui beberapa peristiwa sehari-hari yang berkaitan dengan suhu dan kalor, lakukanlah diskusi untuk menemukan jawaban beberapa pertanyaan pada *Eureka* berikut.

### Eureka

Diskusikan bersama teman sebangku kalian beberapa kejadian berikut dan jawablah pertanyaan yang diberikan.

1. Ketika kita memanaskan air selama beberapa menit, bagaimanakah suhu air dibandingkan suhu semula? Apakah yang terjadi jika air dipanaskan terus menerus?
2. Kita dapat merasakan panasnya api unggun ketika berada di sekitarnya, walaupun berada beberapa meter dari sumber api. Demikian pula dengan matahari. Kita semua percaya bahwa matahari sangat panas. Panas ini dapat sampai ke bumi dan dapat kita rasakan. Menunjukkan apakah kedua peristiwa tersebut?
3. Jika kita memasukkan es batu ke dalam sebuah gelas, maka di bagian luar gelas akan terbentuk embun. Dari manakah embun ini berasal?
4. Sebuah benda yang dipanaskan atau diberi kalor dapat mengalami perubahan bentuk. Misalnya, air yang dipanaskan akan berubah menjadi uap air. Sebutkan contoh yang menunjukkan adanya perubahan bentuk akibat penambahan atau pengurangan kalor.

Presentasikan hasil yang kalian peroleh di depan guru dan teman-teman lainnya.

Beberapa peristiwa yang telah kalian diskusikan pada *Eureka* tersebut berkaitan erat dengan pengertian suhu dan kalor. Ketika kita memanaskan air, berarti kita menambahkan sejumlah kalor pada air. Akibat penambahan kalor ini, suhu air akan meningkat atau terjadi perubahan suhu. Dari kenyataan ini, jelaslah bahwa suhu dan kalor adalah dua hal yang berbeda.

**Suhu** menyatakan derajat panas suatu benda atau ukuran panas dinginnya suatu benda. Sedangkan **panas** atau **kalor** merupakan salah satu bentuk energi yang dapat menyebabkan perubahan suhu.

Dari pengertian tersebut, benda yang panas mempunyai suhu tinggi. Sementara, benda yang dingin akan mempunyai suhu rendah.

## 1. Alat Pengukur Suhu

Tangan atau kulit kita sebenarnya dapat merasakan adanya perbedaan suhu dari benda-benda di sekitar kita. Akan tetapi, kita tidak dapat menentukan secara pasti jumlah perbedaan suhu dua benda dalam waktu bersamaan. Kita hanya dapat membedakan bahwa benda satu lebih panas atau lebih dingin dari benda lainnya. Ini menunjukkan bahwa pengukuran suhu menggunakan tangan atau kulit kurang akurat, karena orang yang berbeda akan mengatakan hal yang berbeda.

Contoh sederhana yang menunjukkan keterbatasan tangan untuk mengukur suhu adalah dengan melakukan kegiatan pada *Ekspedisi* berikut.



### Ekspedisi



Lakukanlah kegiatan ini di rumah kalian. Sediakan tiga buah baskom atau tempat air lainnya. Isilah baskom pertama dengan air dingin, baskom kedua dengan air hangat, dan baskom ketiga dengan air biasa. Selanjutnya, masukkan tangan kanan kalian pada baskom pertama dan tangan kiri pada baskom kedua secara bersamaan selama kurang lebih 5 menit. Setelah itu, angkatlah kedua tangan dan segera masukkan ke baskom ketiga secara bersamaan. Apakah yang kalian rasakan? Apakah kedua tangan kalian merasakan suhu air pada baskom ketiga sama? Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan kalian.

Dari hasil kegiatan pada *Ekspedisi* tersebut, kita semua menyadari bahwa tangan kita bukan alat pengukur suhu yang baik. Buktinya kedua tangan kita merasakan hal yang berbeda saat berada di baskom ketiga. Padahal, suhu air pada baskom ketiga tetap tidak berubah. Hanya karena keadaan awal kedua tangan kita yang berbeda, kita merasakan adanya perbedaan suhu pada baskom ketiga. Inilah salah satu bukti keterbatasan tangan atau kulit kita dalam mengukur suhu. Untuk itulah diperlukan suatu alat pengukur suhu yang kita sebut sebagai **termometer**.



**Gambar 7.1** Memanaskan benda berarti memberikan sejumlah kalor yang akan mengakibatkan perubahan suhu.

Termometer bekerja menggunakan bahan yang bersifat **termometrik**. Artinya, sifat-sifat benda tersebut dapat berubah jika ada perubahan suhu. Berdasarkan sifat ini, terdapat beberapa jenis termometer, yaitu:

- Termometer zat cair yang bekerja berdasarkan pemuaian zat cair yang dipanaskan.
- Termometer bimetal yang bekerja berdasarkan pemuaian logam yang dipanaskan.
- Termometer hambatan yang bekerja karena bertambahnya hambatan listrik jika kawat logamnya dipanaskan. Kemudian, akan terjadi pulsa-pulsa listrik yang menunjukkan suhu yang diukur.
- Termokopel yang prinsipnya terjadi pemuaian dua logam karena ujungnya disentuhkan. Akibatnya timbullah gaya gerak listrik (GGL) dan inilah yang akan menunjukkan suhu suatu benda
- Pyrometer, merupakan alat ukur untuk suhu yang tinggi ( $500^{\circ}\text{C}$  –  $3.000^{\circ}\text{C}$ ). Alat ini bekerja berdasarkan intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda panas.

Sementara itu, berdasarkan manfaat dan tempatnya ada beberapa jenis termometer, antara lain termometer badan, termometer maksimum-minimum, termometer dinding, dan termometer batang.

#### a. Termometer Badan

Sesuai dengan namanya, termometer ini digunakan untuk mengukur suhu badan seseorang. Termometer ini biasa disebut **termometer klinis** atau **termometer demam**. Skala pada termometer ini berkisar antara  $34^{\circ}\text{C}$  atau  $35^{\circ}\text{C}$  sampai  $42^{\circ}\text{C}$ . Ini sesuai dengan suhu tubuh normal manusia yakni  $37^{\circ}\text{C}$ . Ketelitian termometer badan mencapai  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Termometer ini menggunakan bahan termometrik air raksa. Salah satu jenis termometer badan dapat kalian lihat pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Termometer badan dan cara penggunaannya.

Cara penggunaan termometer badan biasanya diletakkan di bawah lidah atau dikulum beberapa menit. Saat digunakan, air raksa akan naik melalui pipa sempit. Selanjutnya, air raksa itu akan berhenti dan menunjuk angka sesuai dengan suhu badan orang yang sedang diukur. Satu hal yang perlu diingat adalah sebelum digunakan, termometer perlu dikibas-kibaskan atau digoncang-goncangkan perlahan dengan tujuan agar air raksa dalam termometer kembali ke keadaan semula.

#### b. Termometer Maksimum-Minimum

Seringkali kita mendengar perkiraan cuaca berikut suhu kisaran di suatu daerah oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG). Perkiraan suhunya meliputi suhu maksimum dan suhu minimum dari suatu daerah dalam jangka waktu tertentu.

Pengukuran suhu ini menggunakan termometer maksimum-minimum. Termometer ini disebut juga dengan **termometer Six Belani**, sesuai nama penemunya yaitu **James Six** dan **Bellani**. Termometer ini menggunakan alkohol sebagai bahan termometrik.

Termometer jenis ini bekerja berdasarkan prinsip pemuaian. Apabila suhu di suatu tempat naik, alkohol dalam tabung A akan memuai, sehingga mendesak permukaan raksa di kaki kiri. Desakan air raksa pada kaki kiri ini akan mendesak permukaan air raksa di kaki kanan, sehingga mendorong penunjuk baja maksimum pada angka tertentu. Demikian pula saat suhu turun, alkohol menyusut sehingga air raksa di kaki kanan akan mendorong naik air raksa di kaki kiri. Pada akhirnya, penunjuk baja pada kaki kiri akan turut naik menunjuk angka minimum tertentu. Untuk mengembalikan logam penunjuk pada posisi sediakala, kita menginduksinya dengan magnet.

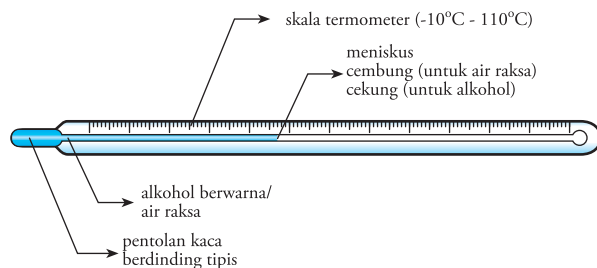
Dengan demikian, kita dapat mengetahui suhu maksimum pada penunjuk di kaki kanan termometer. Lalu, pada penunjuk di kaki kiri, kita dapat mengetahui suhu minimum dari benda yang kita ukur.

### c. Termometer Dinding

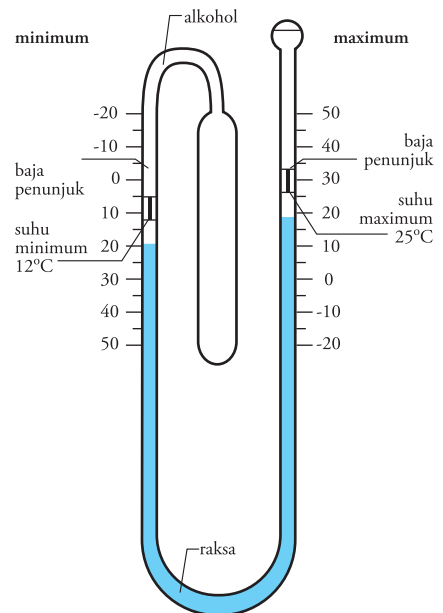
Termometer ini dimanfaatkan untuk mengukur suhu udara di ruangan atau biasa kita menyebutnya dengan nama **suhu kamar**. Skalanya, berkisar antara  $-50^{\circ}\text{C}$  sampai  $50^{\circ}\text{C}$ . Pada suatu ruangan dengan suhu normal bila diukur melalui termometer dinding akan menunjukkan suhu kamar  $25^{\circ}\text{C}$ .

### d. Termometer Batang

Saat di laboratorium, selain terdapat termometer dinding, ada pula yang namanya **termometer batang**. Termometer ini ada yang menggunakan alkohol dan ada yang menggunakan air raksa. Skala termometer ini antara  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $110^{\circ}\text{C}$ . Biasanya digunakan untuk mengukur suhu pada percobaan-percobaan di laboratorium. Cara penggunaannya yakni dengan menempelkan tandon pada benda yang suhunya sedang kita ukur. Kemudian, ujung batang yang lain kita gantung dengan benang atau kita jepit dengan karet (isolator panas).



Gambar 7.5 Termometer batang.



Gambar 7.3 Termometer maksimum-minimum Six Bellani.



Gambar 7.4 Termometer dinding.

## 2. Penentuan Skala Suhu

Saat melakukan pengukuran suhu dengan suatu termometer, kita memerlukan suatu acuan. Acuan ini ada didasarkan pada skala termometer. Skala ini mempunyai dua acuan, yakni titik didih dan titik beku air. Titik



**Anders Celsius** (1701-1744) adalah penemu dan pencetus termometer dengan skala 100 derajat, yang memisahkan titik didih dan titik beku air. Celsius adalah seorang astronom berkebangsaan Swedia, yang dari tahun 1730 sampai 1744 menjadi profesor astronomi di Universitas Upsala. Pada tahun 1733, sebanyak 316 hasil penelitiannya tentang *aurora borealis* (cahaya dari arah kutub utara) dipublikasikan. Tahun 1737, ia ambil bagian dalam sebuah ekspedisi, dengan misi mengukur satu derajat garis bujur di daerah kutub.

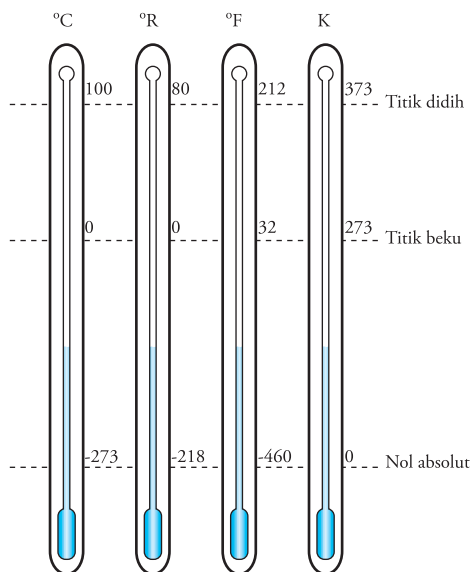
Microsoft Encarta Premium 2006

didih air dijadikan sebagai titik acuan atas, sedangkan titik beku air dijadikan titik acuan bawah. Kemudian, di antara keduanya dibagi dalam beberapa skala kecil.

Beberapa ilmuwan telah menentukan titik acuan dalam termometer. Skala yang mereka tentukan menjadi dasar penentuan skala suhu. Ilmuwan yang dimaksud antara lain:

- Anders Celcius** (1701 – 1744). Ia membuat termometer dengan titik beku air pada skala 0 dan titik didih air pada skala 100. Termometer buatannya dikenal sebagai termometer Celcius dengan satuan suhu dalam derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Jadi, termometer celsius mempunyai titik bawah  $0^{\circ}\text{C}$  dan titik atasnya  $100^{\circ}\text{C}$ .
- Gabriel Daniel Fahrenheit** (1686 – 1736). Ia menetapkan titik beku air pada skala  $32^{\circ}$  sebagai titik acuan bawah dan titik didih air pada skala  $212^{\circ}$  sebagai titik acuan atas. Termometer hasil rancangannya disebut termometer Fahrenheit dengan satuan suhu derajat Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).
- Antoine Ferchault de Reamur** (1683 – 1757). Termometer rancangannya disebut sebagai termometer Reamur dengan titik acuan bawah  $0^{\circ}\text{R}$  dan titik acuan atas  $80^{\circ}\text{R}$ .
- Lord Kelvin** (1824 – 1904). Ia merancang termometer yang dikenal sebagai termometer Kelvin. Termometer ini mempunyai titik acuan bawah 273 dan titik acuan atas 373. Skala satuan suhu termometer ini dinyatakan dalam Kelvin (K).

Berdasarkan penetapan dari ilmuwan-ilmuwan ini, kita dapat mengenal 4 macam skala (derajat) dalam suhu, yaitu Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ), dan Kelvin (K). Perhatikan penetapan skala beberapa termometer pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Skema skala suhu  $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{R}$ ,  $^{\circ}\text{F}$ , dan K.



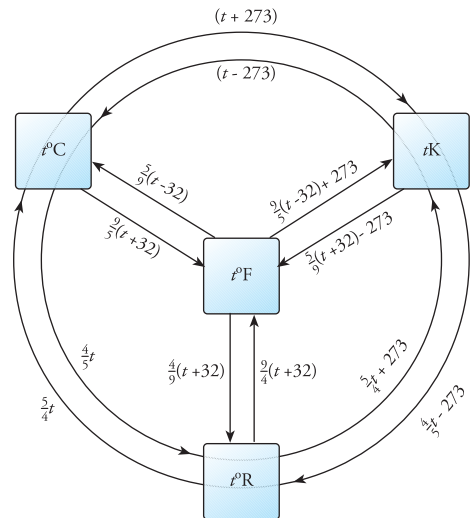
Interval dari skala tersebut berbeda-beda. Interval skala Celcius dan Kelvin adalah 100, interval skala Reamur adalah 80, sedangkan interval skala Fahrenheit adalah 180. Berdasarkan interval skala ini, kita akan mendapatkan perbandingan skala suhu C, R, F, dan K sebagai berikut.

$$C : R : F : K = 100 : 80 : 180 : 100 = 5 : 4 : 9 : 1$$

Berdasarkan perbandingan ini, kita dapat melakukan penyetaraan di antara keempat skala tersebut. Langkah penyetaraan ini, dapat kalian pelajari dari bagan pada Gambar 7.7.

Satuan skala Kelvin juga disepakati sebagai standar satuan suhu. Suhu yang dinyatakan dengan skala Kelvin disebut sebagai **suhu mutlak**, yang dilambangkan dengan T. Suhu mutlak merupakan satuan suhu yang sering digunakan dalam perhitungan fisika maupun kimia.

Nah, untuk mengetahui cara penggunaan bagan konversi suhu pada Gambar 7.7, perhatikan contoh berikut.



Gambar 7.7 Bagan konversi suhu dalam °C, °F, °R, dan K.

## Contoh

Setarakanlah suhu berikut sesuai satuan yang dikehendaki.

- $40^{\circ}\text{R} = \dots^{\circ}\text{C}$
- $20^{\circ}\text{C} = \dots^{\circ}\text{R}$
- $50^{\circ}\text{F} = \dots^{\circ}\text{R}$
- $59^{\circ}\text{F} = \dots^{\circ}\text{C}$

### Penyelesaian:

- Untuk mengubah °R ke dalam °C, kita menggunakan faktor konversi:

$$T^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4} \times T^{\circ}\text{C}$$

$$40^{\circ}\text{R} = \frac{5}{4} \times (40)^{\circ}\text{C}$$

$$40^{\circ}\text{R} = 50^{\circ}\text{C}$$

- Untuk mengubah °C ke °R, gunakan konversi:

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{4}{5} \times T^{\circ}\text{R}$$

$$20^{\circ}\text{C} = \frac{4}{5} \times (20)^{\circ}\text{R}$$

$$20^{\circ}\text{C} = 16^{\circ}\text{R}$$

- Untuk mengubah °F ke °R, gunakan konversi:

$$T^{\circ}\text{F} = \frac{4}{9} \times (T - 32)^{\circ}\text{R}$$

$$50^{\circ}\text{F} = \frac{4}{9} \times (50 - 32)^{\circ}\text{R}$$

$$50^{\circ}\text{F} = 8^{\circ}\text{R}$$

- Untuk mengubah °F ke dalam °C, gunakan konversi:


$$T^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9} \times (t - 32)^{\circ}\text{C}$$

$$59^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9} \times (59 - 32)^{\circ}\text{C}$$

$$59^{\circ}\text{F} = 15^{\circ}\text{C}$$



**Mozaiik**



**James Prescott Joule**  
(1818-1889) adalah seorang fisikawan Inggris. Namanya digunakan sebagai satuan energi (joule). Ia mendapatkan bahwa 1 joule setara dengan 0,24 kalori, atau 1 kalori setara dengan 4,2 joule.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 88

### 3. Kalor dan Perubahan Suhu

Di depan, kita telah membahas pengertian kalor sebagai salah satu bentuk energi.

**Kalor** didefinisikan sebagai energi yang berpindah dari zat yang suhunya lebih tinggi menuju zat yang suhunya lebih rendah.

Orang yang pertama menyatakan kalor sebagai energi adalah **Robert Mayer** yang diperkuat oleh **James Prescott Joule** (1818–1889). Oleh karenanya, satuan kalor dalam SI diberi nama **Joule**. Satuan yang lainnya adalah **kalori** atau **kal**.

**1 kalori** menyatakan banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg air sehingga suhunya naik sebesar 1 derajat Celcius.

Pengaruh kalor pada perubahan suhu suatu benda dapat dengan mudah kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya, air yang dipanaskan akan mengalami peningkatan suhu. Peningkatan suhu ini disebabkan karena energi panas dari api berpindah menuju air. Ini membuktikan bahwa kalor dapat memengaruhi suhu suatu zat. Untuk menemukan bentuk hubungan kalor dan perubahan suhu zat, lakukanlah *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen Menyelidiki Pengaruh Kalor Terhadap Suhu Zat

### A. Dasar Teori

Kalor adalah energi yang berpindah dari zat yang suhunya tinggi menuju ke zat yang suhunya rendah. Ini terjadi jika kedua zat saling bersentuhan atau berdekatan. Suatu zat apabila diberikan kalor suhunya akan bertambah. Pertambahan suhu ini terjadi karena energi kalor berpindah menuju benda yang diberi kalor. Besarnya perubahan suhu ditentukan oleh jenis zat, massa zat, dan jumlah kalor yang diberikan.

### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan eksperimen ini, kalian diharapkan mampu:

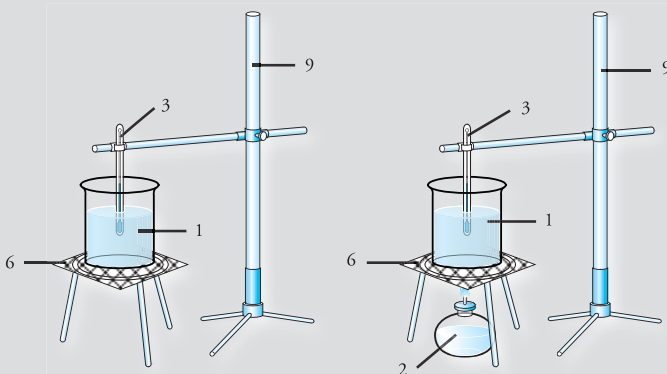
1. Menemukan pengaruh kalor terhadap perubahan suhu benda.
2. Menemukan pengaruh massa benda terhadap perubahan suhu jika suatu zat mendapatkan kalor.

### C. Alat dan Bahan

1. Gelas beker
2. Pemanas spiritus
3. Termometer
4. *Stop-watch* atau arloji
5. Neraca
6. Kaki tiga
7. Air
8. Kertas grafik
9. Statif

### D. Langkah Kerja

1. Rangkailah alat seperti gambar.
2. Ukurlah massa gelas beker kosong. Kemudian, masukkan air ke dalam gelas beker dan timbanglah massanya. Massa air sama dengan massa gelas beker yang berisi air dikurangi massa gelas beker.



3. Masukkan termometer ke dalam air. Catat suhu awal air tersebut.
4. Panaskan air dengan pemanas atau pembakar bunsen dalam wadah tahan panas/ gelas beker hingga mendidih. Ingat hati-hati dengan nyala apinya. Jangan sampai kalian kena apinya.
5. Ukurlah suhu air setiap 3 menit.
6. Ulangilah langkah 1 hingga 4 dengan massa air yang berbeda. Masukkan data yang kalian peroleh pada tabel berikut.

Massa Air	Menit ke	Suhu	Perubahan Suhu ( $\Delta t = t - t_0$ )
	0		
	3		
	6		
	9		
	dst		

#### E. Pembahasan

1. Buatlah grafik antara waktu dengan suhu air untuk setiap massa air.
2. Buatlah grafik antara perubahan suhu dengan massa air.
3. Apa yang dapat kalian simpulkan dari eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen kalian dengan menggunakan cara penulisan laporan yang baik dan benar dan kumpulkan hasilnya kepada guru.

Berdasarkan hasil *Eksperimen* yang telah dilakukan, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa pemberian kalor mengakibatkan perubahan suhu benda. Pada percobaan tersebut, semakin lama air dipanaskan berarti jumlah kalor yang diberikan semakin besar. Dengan demikian, semakin besar kalor yang diberikan semakin besar pula kenaikan suhu benda. Selain itu, kenaikan suhu tidak hanya ditentukan oleh jumlah kalor yang diberikan, tetapi juga tergantung pada massa benda. Semakin besar massa benda, semakin kecil perubahan suhu yang terjadi. Dengan kata lain, perubahan suhu berbanding terbalik dengan massa benda. Dari hasil percobaan, kita dapat menuliskan:

$$\Delta T \propto \frac{Q}{m}$$

$$Q \propto m \Delta T$$

Kesebandingan tersebut, dapat diubah menjadi bentuk persamaan dengan menambahkan konstanta yang disebut kalor jenis ( $c$ ).

**Kalor jenis zat** didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu 1 kg massa zat sebesar  $1^\circ\text{C}$  atau 1 K.

Jadi, kita mempunyai bentuk persamaan:

$$Q = m c \Delta T$$

**Keterangan:**  $Q$  = kalor yang diperlukan atau dibuang (J atau kal)

$m$  = massa benda (kg)

$c$  = kalor jenis benda ( $\text{J/ kg}^\circ\text{C}$ )

$\Delta T = T_1 - T_0$  = perubahan suhu benda ( $^\circ\text{C}$ )

M o z a i k	
Besarnya kalor jenis suatu zat dapat kalian lihat pada tabel berikut.	
Nama zat	Kalor jenis pada $20^\circ\text{C}$ ( $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ )
Air ( $15^\circ\text{C}$ )	4.186
Es ( $-5^\circ\text{C}$ )	2.100
Aluminium	900
Tembaga	390
Besi atau baja	450
Perak	230
Kayu	1.700
Alkohol	2.400
Air raksa	140
Giancoli, 2001, hlm. 492	

Kalor jenis zat menunjukkan karakteristik suatu zat. Suatu zat memiliki kalor jenis yang berbeda dengan zat lainnya. Semakin besar kalor jenis suatu zat, semakin banyak kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ . Selain kalor jenis, karakteristik suatu zat juga ditunjukkan oleh **kapasitas kalor** zat tersebut.

**Kapasitas kalor** adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu benda sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1^{\circ}\text{K}$ .

Kita dapat menuliskan kapasitas kalor dengan persamaan berikut.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

atau

$$C = mc$$

**Keterangan:**  $C$  = kapasitas kalor suatu zat ( $\text{J/K}$  atau  $\text{J/C}^{\circ}$ )

$c$  = kalor jenis suatu zat ( $\text{J/kg }^{\circ}\text{C}$  atau  $\text{kcal/kgC}^{\circ}$ )

Untuk menambah pemahaman kalian, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Hitunglah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur besi bermassa 3 kg dari suhu  $10^{\circ}\text{C}$  sampai  $80^{\circ}\text{C}$ ? Diketahui  $c_{\text{besi}} = 450 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 3 \text{ kg}$

$$\Delta T = 80^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{besi}} = 450 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $Q$

**Jawab:**

Untuk mencari banyaknya kalor yang dibutuhkan, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Q &= mc\Delta T \\ &= 3 \times 450 \times 70 \\ &= 9,45 \times 10^4 \text{ J} \\ &= 94,5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi, kalor yang dibutuhkan adalah 94,5 kJ.

2. Air sebanyak 500 g bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$  jika diberi kalor 100 kkal, berapakah suhu air sekarang?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$

$$T_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{air}} = 4.200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 100 \text{ kkal} = 4,2 \times 10^5 \text{ J}$$

**Ditanyakan:**  $T$

**Jawab:**

Untuk mencari  $T$ , gunakan persamaan:

$$Q = mc_{\text{air}} \Delta T$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{mc_{\text{air}}} \\ &= \frac{4,2 \times 10^5}{0,5 \times 4.200} \\ &= 200 \end{aligned}$$

$$\Delta T = T - T_0$$

$$T = 200 - 20$$

$$= 180^{\circ}\text{C}$$

Jadi, suhu air akhir adalah  $180^{\circ}\text{C}$ .

Nah selanjutnya, untuk menguji pengetahuan kalian, selesaikanlah soal-soal pada *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Jelaskan perbedaan suhu dan kalor.
2. Menurut sifat termometriknya, termometer dibagi dalam beberapa jenis. Sebutkan dan jelaskan masing-masing jenis termometer tersebut.
3. Amir mengukur suhu air dan memperoleh suhu  $45^{\circ}\text{C}$ . Menunjukkan skala berapakah suhu air tersebut jika menggunakan termometer Fahrenheit, termometer Reamur, dan termometer Kelvin?
4. Suhu inti matahari kira-kira  $6.000\text{ K}$ . Hitunglah suhu matahari jika dinyatakan dalam Celcius, Reamur, dan Fahrenheit.
5. Hitunglah kalor yang harus diberikan untuk menaikkan suhu dari  $25^{\circ}\text{C}$  sampai  $90^{\circ}\text{C}$  pada penggorengan yang terbuat dari aluminium dengan massa  $1,5\text{ kg}$ , dan kalor jenisnya  $900\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ .
6. Air raksa sebanyak  $500\text{ g}$  bersuhu  $12^{\circ}\text{C}$ . Jika diberi kalor sebesar  $110\text{ kkal}$ , berapakah suhu air raksa sekarang?
7. Suatu benda mempunyai kalor jenis  $840\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ . Apabila zat tersebut mempunyai massa  $100\text{ g}$ , berapakah kapasitas kalor benda tersebut?

## B Asas Black dan Perubahan Wujud Zat

Ketika kita mencampurkan segelas air panas dengan segelas air dingin, maka suatu saat akan didapatkan suhu akhir. Suhu akhir ini berada di antara suhu air dingin dan suhu air panas. Demikian pula jika dua buah zat/benda dengan suhu berbeda, dicampurkan suatu saat akan mempunyai suhu yang sama. Ini terjadi karena benda dengan suhu tinggi akan melepaskan kalor. Kalor yang dilepaskan ini akan diserap oleh benda yang bersuhu lebih rendah. Jika kedua benda terisolasi dengan baik, maka **jumlah kalor yang dilepas sama dengan jumlah kalor yang diterima**. Pernyataan inilah yang disebut sebagai **Asas Black**.

### 1. Asas Black dan Kalorimeter

Asas Black merupakan bentuk lain dari Hukum Kekekalan Energi. Asas Black dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

kalor yang dilepaskan = kalor yang diterima

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}}$$
$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2$$

Dengan  $\Delta T_1 = T - T_{\text{akhir}}$  dan  $\Delta T_2 = T_{\text{akhir}} - T$  kita mendapatkan persamaan:

$$m_1 c_1 (T_1 - T_c) = m_2 c_2 (T_c - T_2)$$

**Keterangan:**  $m_1$  = massa benda 1 yang suhunya tinggi (kg)  
 $m_2$  = massa benda 2 yang suhunya rendah (kg)  
 $c_1$  = kalor jenis benda 1 (J/kg°C)  
 $c_2$  = kalor jenis benda 2 (J/kg°C)  
 $T_1$  = suhu mula-mula benda 1 (°C atau K)  
 $T_2$  = suhu mula-mula benda 2 (°C atau K)  
 $T_c$  = suhu akhir atau suhu campuran (°C atau K)

Dengan menggunakan Asas Black ini, kita dapat menghitung suhu akhir dari dua buah benda atau zat yang dicampurkan. Selain itu, jika kalor jenis salah satu benda diketahui, kita dapat mencari kalor jenis benda kedua. Alat yang digunakan untuk mencari kalor jenis benda atau zat yang menggunakan Asas Black adalah **kalorimeter**.

Untuk mengetahui cara kerja kalorimeter, lakukanlah *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen Menentukan Kalor Jenis Zat dengan Kalorimeter

### A. Dasar Teori

Kalorimeter terdiri atas sebuah bejana tembaga tipis yang dimasukkan ke dalam bejana serupa yang lebih besar. Di antara keduanya diberi bahan isolator, bisa berupa udara atau gabus. Bejana ini dilengkapi dengan tutup yang dapat menutup sangat rapat yang diberi tempat untuk pengaduk dan termometer. Perhatikan gambar.

Pengukuran kalor jenis suatu benda, misalnya logam dilakukan dengan memasukkan logam panas ke dalam kalorimeter berisi air dingin. Ketika benda bercampur dengan air, suatu saat akan didapatkan suhu akhir campuran. Dengan menggunakan Asas Black, kita dapat menentukan kalor jenis suatu zat pada kalorimeter dengan menggunakan persamaan:

$$m_b c_b (T_b - T_c) = m_a c_a (T_c - T_a) + m_k c_k (T_c - T_k)$$

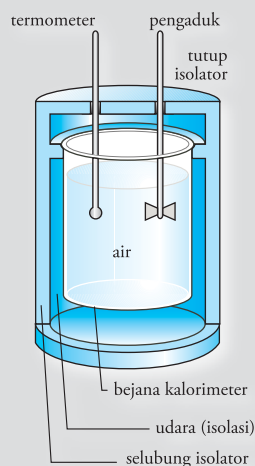
$$c_b = \frac{m_a c_a (T_c - T_a) + m_k c_k (T_c - T_k)}{m_b (T_b - T_c)}$$

Suhu awal air ( $T_a$ ) sama dengan suhu awal kalorimeter ( $T_k$ ) sehingga persamaan tersebut dapat dituliskan:

$$c_b = \frac{(m_a c_a + m_k c_k) (T_c - T_a)}{m_b (T_b - T_c)}$$

### Keterangan:

$m_b$  = massa benda (kg)  
 $m_a$  = massa air (kg)  
 $m_k$  = massa kalorimeter (kg)  
 $c_b$  = kalor jenis benda (J/kg°C)  
 $c_a$  = kalor jenis air  
 $c_k$  = kalor jenis bahan kalorimeter  
 $T_b$  = suhu awal benda (°C)  
 $T_a$  = suhu awal air  
 $T_c$  = suhu campuran atau suhu akhir



**B. Tujuan Percobaan**

Setelah melakukan percobaan ini, kalian diharapkan mampu:

1. Menggunakan kalorimeter dengan baik dan benar.
2. Menentukan kalor jenis suatu benda.

**C. Alat dan Bahan**

1. Bejana kalorimeter dan kelengkapannya
2. Termometer
3. Pemanas spritus
4. Logam berbentuk kubus (besi dan kuningan)
5. Gelas beker
6. Air
7. Kaki tiga

**D. Langkah Kerja**

1. Timbanglah bejana kalorimeter kosong beserta pengaduknya. Isilah bejana tersebut dengan air hingga hampir penuh. Timbang lagi kalorimeter setelah berisi air.
2. Ukurlah suhu air di dalam kalorimeter. Catat sebagai suhu awal air dan suhu awal kalorimeter.
3. Siapkan pembakar spritus, gelas beker yang diisi air, dan logam yang akan diukur. Masukkan logam ke dalam gelas beker, kemudian panaskan. Tunggu hingga air mendidih.
4. Ukurlah suhu air di dalam gelas beker pada saat air mendidih sebagai suhu awal logam ( $t_b$ ).
5. Pindahkan logam secepatnya ke dalam kalorimeter dan tutup rapat-rapat sambil diaduk-aduk.
6. Catatlah suhu akhir campuran.
7. Ulangilah langkah 1 – 5 sebanyak 3 kali. Kemudian ulangilah untuk jenis logam yang lain.

**E. Pembahasan**

1. Apakah tujuan kalorimeter diaduk?
2. Dengan menggunakan asas Black, hitunglah kalor jenis logam yang kalian ukur. Jangan lupa sertakan pula nilai ketidakpastiannya.

Buatlah laporan hasil eksperimen kalian. Kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

Dengan melakukan *Ekperimen* tersebut, kalian tentunya lebih menguasai materi asas Black. Selanjutnya, pelajari contoh penerapan Asas Black berikut.

## Contoh

1. Anis menyiapkan minuman es teh untuk pekerja di rumahnya dalam suatu wadah. Ia mencampur 0,5 kg es yang bersuhu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan 1 kg air teh yang suhunya  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Apabila pertukaran kalor hanya terjadi pada kedua benda,  $c_{\text{es}} = 2.100\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ , dan  $c_{\text{air}} = 4.200\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$  berapa suhu akhir minuman tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m_{\text{es}} = 0,5\text{ kg}$   
 $T_{\text{es}} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $c_{\text{es}} = 2.100\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$   
 $m_{\text{air}} = 1\text{ kg}$   
 $t_{\text{air}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $c_{\text{air}} = 4.200\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$

**Ditanyakan:**  $t_c$

**Jawab:**

Untuk mencari suhu campuran, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{air}} &= Q_{\text{es}} \\
 m_{\text{air}} c_{\text{air}} (T_{\text{air}} - T_c) &= m_{\text{es}} c_{\text{es}} (T_c - T_{\text{es}}) \\
 1 \times 4.200 \times (20 - T_c) &= 0,5 \times 2.100 (T_c - (-5)) \\
 4.200 \times (20 - T_c) &= 1.050 (T_c + 5) \\
 80 - 8T_c &= T_c + 5 \\
 9T_c &= 75 \\
 T_c &= 8,33^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Jadi, suhu akhir minuman tersebut adalah  $8,33^\circ\text{C}$ .

2. Sebuah logam bermassa 0,2 kg dipanaskan sampai  $200^\circ\text{C}$ . Kemudian, logam itu dimasukkan pada 450 g air dengan suhu  $25^\circ\text{C}$  yang ditempatkan pada bejana kalorimeter aluminium 200 g. Ditemukan suhu akhir campuran adalah  $40^\circ\text{C}$ . Jika kalor jenis air  $4.200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  dan kalor jenis bahan kalorimeter  $900 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ , hitunglah kalor jenis logam tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m_{\text{log}} = 0,2 \text{ kg}$   
 $T_{\text{log}} = 200^\circ\text{C}$   
 $T_a = T_k = 25^\circ\text{C}$   
 $m_a = 450 \text{ g} = 0,45 \text{ kg}$   
 $c_a = 4.200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$   
 $m_k = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$   
 $c_k = 900 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$   
 $T_c = 40^\circ\text{C}$

**Ditanyakan:**  $c_{\text{log}}$

**Jawab:**

Untuk mencari kalor jenis logam, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{log}} &= \frac{(m_a c_a + m_k c_k)(T_c - T_a)}{m_{\text{log}}(T_{\text{log}} - T_c)} \\
 &= \frac{(0,45 \times 4.200 + 0,2 \times 900)(40 - 25)}{0,2 \times (200 - 40)} \\
 &= \frac{31.050}{32} \\
 &= 970,31 \text{ J/kg}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Jadi, massa jenis sampel logam adalah  $628,08 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .

## 2. Kalor dan Perubahan Wujud Zat



**Gambar 7.8** Es dapat mencair karena menyerap kalor.

Seringkali kita temukan kejadian-kejadian menarik di sekitar kita. Misalnya saja, air yang dipanaskan terus-menerus akan berubah menjadi uap, es jika dibiarkan di atas meja dapat mencair, dan kapur barus yang dibiarkan dapat habis tak tersisa. Kejadian tersebut merupakan salah satu contoh pengaruh kalor terhadap wujud benda.

Kita semua telah mengetahui bahwa wujud benda atau zat ada tiga macam, yakni cair, padat, dan gas. Apabila suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka wujudnya dapat berubah menjadi wujud lain. Misalnya, es yang menerima kalor dari lingkungan akan berubah menjadi cair dan air yang menerima kalor dari hasil pemanasan akan berubah menjadi uap atau gas.

Ketika suatu zat berubah menjadi wujud lain, diperlukan atau dilepaskan sejumlah kalor. Kalor yang diperlukan atau dilepaskan per satuan massa pada saat terjadi perubahan fase atau wujud disebut **kalor laten**. Berdasarkan definisi tersebut, kalor laten dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{Q}{m} \\
 Q &= mL
 \end{aligned}$$

**Keterangan:**  $L$  = kalor laten ( $\text{J/kg}$ )

$Q$  = kalor yang diserap atau dilepas ( $\text{J}$ )

$m$  = massa benda ( $\text{kg}$ )

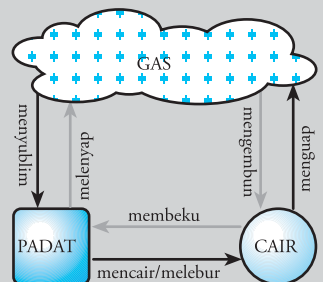
Sekarang coba perhatikan air yang sedang dipanaskan. Kalian tahu bahwa air akan mendidih ketika suhunya  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atmosfer atau kurang dari  $100^{\circ}\text{C}$  untuk tekanan yang lebih tinggi. Jika air yang sudah mendidih terus dipanaskan, maka air akan berubah menjadi uap atau gas, akan tetapi suhunya tidak akan bertambah. Contoh lainnya adalah es yang sedang mencair. Ketika mencair, suhu es dalam bentuk padat akan sama dengan suhu saat baru menjadi air. Dua contoh ini menunjukkan bahwa pada saat terjadi perubahan wujud atau fase benda, tidak ada perubahan suhu atau kenaikan suhu yang terjadi. Ini tidak hanya terjadi pada saat air menguap atau es mencair, tetapi terjadi pada semua jenis perubahan wujud, seperti mencair, membeku, menguap, menyublim, melenyap, atau pun mengembun.

Nah, berdasarkan perubahan wujud tersebut, kalor laten mempunyai beberapa jenis. Apabila benda/zat mengalami perubahan fase/wujud dari padat menjadi cair (mencair) kalor latennya disebut **kalor lebur**, sedangkan ketika membeku disebut **kalor beku** ( $L_B$ ). Besarnya kalor lebur sama dengan kalor beku. Kemudian, bila benda atau zat mengalami perubahan fase atau wujud dari cair ke uap (menguap), kalor laten yang menyertainya disebut **kalor uap** ( $L_u$ ), sedangkan ketika mengembun disebut **kalor embun** yang besarnya sama dengan kalor uap. Sementara jika terjadi perubahan fase atau wujud dari padat menjadi gas (menyublim) atau sebaliknya, kalor laten yang menyertainya disebut **kalor sublimasi**.

Persamaan kalor laten sangat diperlukan untuk menyelesaikan soal-soal yang terkait dengan Asas Black. Untuk mengetahui penggunaan persamaan kalor laten, perhatikan dan pahami contoh soal di bawah ini.

## Teropong

Di SMP, kalian telah mengenal perubahan wujud atau fase benda. Perubahan wujud dari fase satu ke fase lainnya mempunyai nama berbeda. Perhatikan dan pelajilah diagram perubahan wujud benda berikut.



Skema perubahan fase atau wujud zat.

## Mozaiik

Besarnya **kalor lebur** atau **kalor beku** air adalah  $79,9 \text{ kkal/kg}$  atau  $333 \text{ kJ/kg}$ .  
Besarnya **kalor uap** atau **kalor embun** untuk air adalah  $539 \text{ kkal/kg}$  atau  $2.260 \text{ kJ/kg}$ .

Dari pelbagai sumber

## Contoh

- Perak mempunyai titik didih pada suhu  $961^{\circ}\text{C}$ , kalor lebur sebesar  $88 \text{ kJ/kg}$ , dan kalor jenisnya  $230 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ . Hitunglah kalor yang dibutuhkan untuk meleburkan  $16,5 \text{ kg}$  perak yang temperatur awalnya adalah  $20^{\circ}\text{C}$ .

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m_{\text{Ag}} = 16,5 \text{ kg}$

$$L_B = 88 \text{ kJ/kg} = 8,8 \times 10^4 \text{ J/kg}$$

$$T_{\text{Ag}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Titik lebur perak } (T_f) = 961^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{Ag}} = 230 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $Q$

**Jawab:**

Untuk menyelesaikan soal ini, kita harus ingat bahwa suatu benda akan melebur setelah suhunya mencapai titik didih. Padahal untuk mencapai titik didih juga diperlukan kalor. Jadi, soal ini harus diselesaikan dengan dua jalan. Jalan pertama adalah mencari kalor untuk menaikkan suhu hingga mencapai titik didihnya, dan jalan kedua mencari kalor leburnya. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu dari  $20^{\circ}\text{C}$  hingga  $961^{\circ}\text{C}$  adalah:



$$Q_1 = mc \Delta T$$

$$= 16,5 \times 230 \times (961 - 20)$$

$$= 3,61 \times 10^6 \text{ J}$$

Kalor lebur perak dicari dengan persamaan:

$$Q_2 = m L_B$$

$$= (16,5) \times (8,8 \times 10^4)$$

$$= 1,452 \times 10^6 \text{ J}$$

Jumlah kalor total untuk melebur perak dari suhu 20°C adalah:

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2$$

$$= (3,61 \times 10^6) + (1,452 \times 10^6)$$

$$= 5,062 \times 10^6 \text{ J}$$

Jadi, kalor yang dibutuhkan untuk meleburkan perak tersebut adalah  $5,062 \times 10^6 \text{ J}$ .

2. 100 gram air bersuhu 70°C disiramkan pada balok es bersuhu 0°C hingga semua

es melebur. Jika kalor lebur es 0,5 kkal/kg dan kalor jenis air 1 kkal/kg°C, tentukan massa es yang melebur.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $m_a = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$

$$T_a = 40^\circ\text{C}$$

$$c_a = 1 \text{ kkal/kg}$$

$$L_{\text{b-es}} = 0,5 \text{ kkal/kg}$$

**Ditanyakan:**  $m_{\text{es}}$

**Jawab:**

Dalam kasus ini, air melepaskan kalor dan es menerima kalor, sehingga berlaku Asas Black. Suhu air sama dengan suhu es yakni 0°C

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{es}}$$

$$m_a c_a \Delta T = m_{\text{es}} L_B$$

$$0,1 \times 1 \times (40 - 0) = m_{\text{es}} \times 0,5$$

$$m_{\text{es}} = \frac{4}{0,5}$$

$$= 8 \text{ kg}$$

Jadi, massa es yang disiram adalah 8 kg.

Kalian akan semakin terasah kemampuannya bila selalu belajar dan berlatih. Untuk itu, kalian dapat memanfaatkan *Uji Kompetensi* di bawah ini sebagai ajang latihan.

## Uji Kompetensi

1. Setengah gelas air kopi bersuhu 90°C dicampurkan dengan setengah gelas susu bersuhu 40°C. Jika kalor jenis air kopi sama dengan kalor jenis air susu, berapakah suhu akhir campuran?
2. Seorang anak menginginkan air bersuhu 20°C. Ia mempunyai 0,4 liter air panas bersuhu 60°C dan air es bersuhu 10°C. Jika kalor jenis air 4.200 J/kg°C dan kalor jenis es 2.100 J/kg°C, berapa liter air es harus di campurkan ke dalam air panas?
3. Sebuah logam bermassa 0,5 kg dipanaskan sampai 400°C. Kemudian, logam itu dimasukkan pada 350 g air dengan suhu 15 °C yang ditempatkan pada bejana kalorimeter aluminium 240 g. Ditemukan suhu akhir campuran adalah 50 °C. Hitung kalor jenis logam tersebut.
4. Hitunglah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan balok es sebanyak 500 gram dari suhu 0°C.
5. Sebuah elemen pemanas pada heater digunakan untuk memanaskan 500 gram air. Jika heater mempunyai daya 350 watt, berapakah waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan 80% air tersebut pada tekanan 1 atm?

Kita telah membahas pengaruh kalor terhadap perubahan suhu dan wujud zat. Saat benda dipanaskan, gerakan molekul–molekul dalam benda akan semakin cepat. Akibatnya, pergeseran molekul semakin besar, sehingga terjadi peristiwa yang disebut **pemuaian**. Suatu zat, baik padat, cair, dan gas akan memuai apabila dipanaskan. Pemuaian suatu zat bergantung pada beberapa faktor, yaitu ukuran awal benda, kenaikan suhu, dan jenis benda. Sementara itu, suatu zat/benda dapat mengalami pelbagai jenis pemuaian. Pemuaian zat/benda itu meliputi pemuaian panjang, luas, maupun pemuaian ruang (volume).

Banyak peralatan yang menerapkan konsep pemuaian dalam mekanisme kerjanya. Misalnya saja, termometer bimetal, lampu sen mobil, atau juga plat pada seterika listrik. Kesemuanya bekerja berdasarkan pemuaian antara dua keping logam yang berbeda koefisien muainya. Apabila zat padat dipanaskan, ia akan memuai ke segala arah. Pemuaian ini akan memengaruhi panjang, luas, maupun volume dari zat tersebut.

### 1. Pemuaian Panjang

Pernahkan kalian melihat sambungan rel kereta api? Sambungan rel kereta api dibuat agak longgar, tidak rapat. Ini bertujuan untuk mengantisipasi adanya pemuaian panjang. Pemuaian panjang hanya terjadi pada benda padat dan tidak terjadi pada benda cair atau gas.

Jika sebuah kawat logam dipanaskan, dapat dipastikan akan mengalami pemuaian panjang. Nah, peristiwa ini merupakan contoh **pemuaian panjang** atau **pemuaian linear**.

**Muai panjang** didefinisikan sebagai pertambahan panjang benda yang panjangnya satu satuan panjang (m) dengan kenaikan suhu satu satuan suhu.

Sementara **bilangan yang menunjukkan pertambahan panjang benda yang memuai per panjang mula-mula per kenaikan suhu** disebut **koefisien muai panjang** ( $\alpha$ ). Kita dapat menuliskan persamaan koefisien muai panjang sebagai berikut.

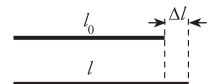
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 (T - T_0)}$$

**Keterangan:**  $\alpha$  = koefisien muai panjang ( / $^{\circ}\text{C}$  atau /K)  
 $l$  = panjang benda setelah dipanaskan (m)  
 $l_0$  = panjang benda mula-mula (m)  
 $T$  = suhu setelah dipanaskan ( $^{\circ}\text{C}$  atau K)  
 $T_0$  = suhu awal ( $^{\circ}\text{C}$  atau K)



Gambar 7.9 Rel dan jembatan dapat mengalami muai panjang.



Gambar 7.10 Skema pemuaian panjang pada suatu benda.

### Mozaiik

Koefisien muai panjang pada beberapa bahan dapat kalian lihat pada tabel berikut.

Bahan	$\alpha (\text{K}^{-1})$
Aluminium	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Baja murni	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Besi	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Emas	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Tembaga	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Kuningan	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Seng	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Perak	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 166-167.

Berdasarkan persamaan tersebut, panjang suatu benda/zat setelah dipanaskan dapat dihitung dengan persamaan:

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T)$$

Untuk membantu kalian dalam menggunakan persamaan tersebut, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Pada suhu  $0^\circ\text{C}$  suatu logam mempunyai panjang 75 cm. Setelah dipanasi hingga suhu  $100^\circ\text{C}$ , panjangnya menjadi 75,09 cm. Berapa koefisien muai panjang logam tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $l = 75,09 \text{ cm} = 0,7509 \text{ m}$

$$l_0 = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$$

$$T = 100^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0^\circ\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $\alpha$

**Jawab:**

Untuk mencari koefisien muai panjang logam tersebut, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{l - l_0}{l_0(T - T_0)} \\ &= \frac{0,7509 - 0,75}{0,75 \times (100 - 0)} \\ &= \frac{9 \times 10^{-4}}{75} \\ &= 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

Jadi, koefisien muai panjang tembaga tersebut adalah  $1,2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ .

2. Sebatang pipa besi pada suhu  $20^\circ\text{C}$  mempunyai panjang 200 cm. Apabila pipa besi tersebut dipanasi hingga  $100^\circ\text{C}$  dan koefisien muai panjangnya  $1,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , hitunglah pertambahan panjang pipa besi tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $t_0 = 20^\circ\text{C}$

$$T = 100^\circ\text{C}$$

$$l_0 = 200 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $\Delta l$

**Jawab:**

Untuk mencari pertambahan panjang besi, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \\ \Delta l &= \alpha l_0 \Delta T \\ &= (1,2 \times 10^{-5}) \times 2 \times (100 - 20) \\ &= 1,92 \times 10^{-3} \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi, pertambahan panjang pipa besi tersebut adalah 1,92 mm.



**Gambar 7.11** Pemasangan kaca jendela membutuhkan ruang.

## 2. Pemuaian Luas

Perhatikan pemasangan kaca pada jendela di rumah kalian. Kaca tersebut tidak terpasang dengan kencang, tetapi agak kendur. Pemasangan kaca seperti ini bertujuan agar kaca tidak pecah saat terkena sinar matahari. Jika terkena sinar matahari, maka kaca akan memuai. Seandainya dipasang dengan kencang, maka saat memuai kaca akan mendesak kusen yang menjepitnya. Akibatnya kaca bisa pecah. Nah, peristiwa ini merupakan salah satu contoh pemuaian luas.

Seperti pemuaian panjang, pemuaian luas juga hanya terjadi pada benda padat. Sementara benda cair atau gas tidak mengalami pemuaian luas. Suatu benda berupa plat atau lembaran yang dipanaskan, panjang

maupun lebarnya akan memuai atau bertambah. Benda yang memuai ini mempunyai suatu koefisien tertentu yang dinamakan

**Koefisien muai luas ( $\beta$ ).** Koefisien muai luas didefinisikan sebagai pertambahan luas terhadap luas awal per kenaikan suhu.

Kita ambil contoh suatu plat berbentuk persegi dengan sisi  $s_0$  pada suhu pada suhu awal  $T_0$ . Andaikan plat tersebut dipanaskan sehingga suhunya menjadi  $T$ , maka tiap sisi plat akan mengalami pemuaian panjang. Perhatikan gambar 7.12. Panjang sisi setelah pemanasan dapat dicari dengan rumus muai panjang sebagai berikut.

$$s = s_0(1 + \alpha \Delta T)$$

Luas pelat setelah pemanasan dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} A &= s \times s \\ &= [(1 + \alpha \Delta T)] \times s_0 [s_0 (1 + \alpha \Delta T)] \\ &= s_0 \times s_0 [1 + 2\alpha \Delta T + \alpha^2 (\Delta T)^2] \end{aligned}$$

Koefisien muai panjang ( $\beta$ ) mempunyai nilai kecil, sehingga  $\alpha^2$  sangat kecil dibanding dengan  $\alpha$ . Ini berarti faktor  $\alpha^2 \Delta T^2$  dapat diabaikan. Dengan  $s_0 \times s_0 = A_0$ , kita memperoleh persamaan:

$$A = A_0(1 + 2\alpha \Delta T)$$

Dengan mendefinisikan nilai  $2\alpha$  sebagai koefisien muai luas ( $\beta$ ), persamaan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk:

$$A = A_0(1 + \beta \Delta T)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, kita memperoleh persamaan koefisien muai luas ( $\beta$ ) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T} \\ \beta &= \frac{A - A_0}{A_0 (T - T_0)} \end{aligned}$$

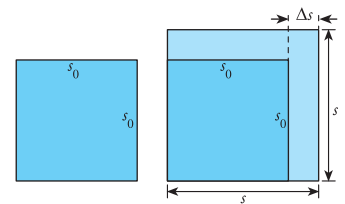
**Keterangan:**  $A$  = luas benda setelah dipanaskan ( $m^2$ )

$A_0$  = luas benda mula-mula ( $m^2$ )

$\beta$  = koefisien muai luas (per  $^{\circ}C$  atau  $K^{-1}$ )

$\Delta A$  = pertambahan luas benda ( $m^2$ )

Nah, melalui persamaan di atas kalian dapat menghitung perubahan luas suatu benda setelah dipanaskan. Selain itu, kalian juga dapat menghitung koefisien muai luasnya. Sekarang, perhatikan dan pahami contoh berikut.



Gambar 7.12 Pemuaian luas pada plat persegi.

**Tips & Trik**

Besar **koefisien muai luas** yang dimiliki suatu bahan adalah **dua kali besar koefisien muai panjangnya**.

## Contoh

Sebuah plat yang terbuat dari aluminium dengan luas mula-mula  $40 \text{ cm}^2$  mempunyai suhu  $5^\circ\text{C}$ . Apabila plat tersebut dipanaskan hingga  $100^\circ\text{C}$ , berapakah pertambahan luas aluminium tersebut?

### Penyelesaian:

**Diketahui:**  $\alpha = 2,4 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

$$\beta = 2\alpha = 4,8 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$A_0 = 40 \text{ cm}^2 = 0,004 \text{ m}^2$$

$$T_0 = 5^\circ\text{C}$$

$$T = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (100 - 5)^\circ\text{C} = 95^\circ\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $\Delta A$

### Jawab:

untuk mencari pertambahan luas plat, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T}$$

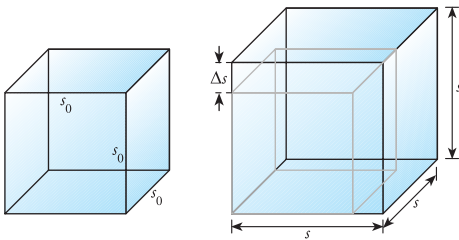
$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T$$

$$= (4,8 \times 10^{-5}) \times (4 \times 10^{-3}) \times 95$$

$$= 1,82 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Jadi, pertambahan luas plat aluminium tersebut adalah:  $1,82 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ .

## 3. Pemuai Volume



Gambar 7.13 Skema pemuai volume pada kubus.

Untuk mencari pemuai volume suatu benda, kita ambil contoh bahan berbentuk kubus padat dengan sisi  $s_0$ . Ketika dipanaskan, setiap sisi akan mengalami muai panjang, sehingga panjang sisinya menjadi  $s$ . Perhatikan Gambar 7.13. Seperti pada saat mencari pemuai luas, volume kubus setelah dipanaskan dapat dicari dengan persamaan:

$$V = V_0(1 + 3\alpha \Delta T)$$

Dengan mendefinisikan  $3\alpha = \gamma$ , dimana  $\gamma$  menyatakan koefisien muai volume.

**Koefisien muai volume** adalah bilangan yang menunjukkan bertambahnya volume suatu benda dari volume asalnya per kenaikan suhu.

Dengan demikian, persamaan tersebut dapat dituliskan menjadi:

$$V = V_0(1 + \gamma \Delta T)$$

Berdasarkan persamaan di atas, kita dapat memperoleh persamaan koefisien muai volume sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$$
$$\gamma = \frac{V - V_0}{V_0(T - T_0)}$$

**Keterangan:**  $\gamma$  = koefisien muai volume ( $/^\circ\text{C}$ )

$V_0$  = volume awal benda ( $\text{m}^3$ )

$V$  = volume benda setelah dipanaskan ( $\text{m}^3$ )

$\Delta V = (V - V_0)$  = perubahan volume benda ( $\text{m}^3$ )

$\Delta T = (T - T_0)$  = perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

Untuk lebih jelasnya, pelajirlah contoh berikut.

## Contoh

Volume air raksa pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  adalah  $8,84\text{ cm}^3$ . Jika koefisien muai volume air raksa adalah  $1,8 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ , berapakah volume air raksa setelah suhunya dinaikkan menjadi  $100^{\circ}\text{C}$ ?

### Penyelesaian:

**Diketahui:**  $V_0 = 8,84\text{ cm}^3$

$$\gamma = 1,8 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = (100 - 0)^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $V$

### Jawab:

Untuk mencari  $V$ , kita dapat menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} V &= V_0 (1 + \gamma \Delta T) \\ &= 8,84 + \{1 + (1,8 \times 10^{-4}) \times (100)\} \\ &= 8,84 (1 + 0,018) \\ &= 8,85\text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Jadi, volume air raksa setelah dipanaskan menjadi  $8,85\text{ cm}^3$ .

Untuk menambah wawasan dan pengetahuan kalian tentang pemuaian zat padat, kerjakan *Eureka* berikut.

## Eureka

Carilah sebanyak-banyaknya peristiwa sehari-hari yang berkaitan dengan pemuaian benda padat. Kemudian diskusikan dengan teman sekelompok kalian, jenis pemuaian yang terjadi, dampak yang ditimbulkan, cara mengurangi dampak tersebut, serta manfaat dari pemuaian tersebut. Bandingkan hasil pencarian kelompok kalian dengan kelompok lainnya agar dapat saling melengkapi.

Selain terjadi pada benda padat, pemuaian volume juga terjadi pada benda cair dan gas. Contoh sederhana mengenai pemuaian volume pada benda atau zat cair adalah ketika air dipanaskan hingga mendidih. Ketika mendidih, air akan memuai sehingga mampu mengangkat tutup panci. Secara umum, volume zat cair akan bertambah jika dipanaskan.

Besarnya volume zat cair setelah dipanaskan dapat dicari dengan persamaan:

$$V = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

$$\text{Sehingga, } \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$$

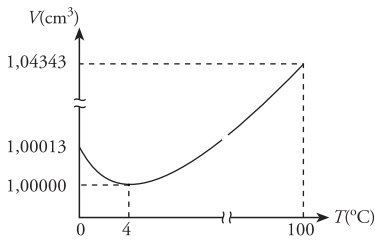
$$\gamma = \frac{V - V_0}{V_0 (T - T_0)}$$

Namun, air memiliki sifat yang istimewa dibandingkan zat cair lainnya. Air apabila didinginkan hingga mencapai suhu  $4^{\circ}\text{C}$ , volumenya

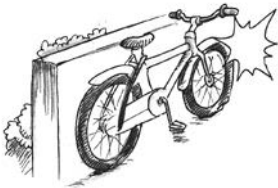


Gambar 7.14 Air yang dimasak dapat memuai.

dok. PIN



**Gambar 7.15** Grafik volume air yang dipanaskan dari 0°C sampai 100°C.



**Gambar 7.16** Akibat pemuaian udara ban sepeda dapat meletus.

akan menyusut. Akan tetapi, jika didinginkan lagi hingga mencapai suhu 0°C, volume air justru akan bertambah atau memuai menjadi es. Perhatikan gambar 7.15.

Nah, sifat air yang seperti ini dinamakan **anomali air**. Anomali air merupakan suatu gejala penting pada zat cair yang ada di alam. Zat lain yang mempunyai sifat seperti ini, misalnya bismuth dan parafin.

Selain zat cair, gas juga mengalami pemuaian volume. Contoh sederhana mengenai pemuaian gas adalah meletusnya ban sepeda saat ditempatkan di bawah terik matahari dalam jangka waktu tertentu. Ini terjadi karena volume gas atau udara di dalam ban akan mengembang atau memuai akibat terkena panas matahari.

Ada tiga faktor yang memengaruhi pemuaian gas, yaitu tekanan, suhu, dan volume. Sementara itu, ada juga tiga hukum yang terkait dengan pemuaian gas. Ketiga hukum yang dimaksud adalah Hukum Boyle, Hukum Charles, dan Hukum Gay Lussac. Kalian akan mempelajari ketiga hukum ini pada bab Teori Kinetik Gas di kelas XI.

Lalu, bagaimana cara kita menghitung perubahan volume gas? Untuk menghitung perubahan volume gas, kita perlu memerhatikan keadaan tekanan dan volume gas. Jika tekanan gas dianggap konstan, maka akan terjadi pemuaian volume. Besarnya volume gas dapat dicari dengan persamaan:

$$V = V_0(1 + \gamma \Delta T)$$

Berbeda dengan zat cair, koefisien muai pada semua gas bernilai  $\frac{1}{273 \text{ K}}$  atau  $\gamma = \frac{1}{273 \text{ K}}$ , sehingga persamaan di atas menjadi:

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} \Delta T \right)$$

Dari persamaan  $\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$ , kita mendapatkan:

$$\Delta V = \frac{1}{273} V_0 \Delta T$$

**Keterangan:**  $\Delta V$  = perubahan volume gas (l)  
 $V$  = volume gas setelah dipanaskan (l)  
 $V_0$  = volume gas mula-mula (l)

Untuk mengetahui penerapan persamaan pemuaian pada gas, pelajailah contoh berikut.



## Contoh

Volume gas pada 27°C adalah 300 cm<sup>3</sup>. Berapakah volume gas jika suhunya diturunkan menjadi 15°C pada tekanan sama?

### Penyelesaian:

**Diketahui:**  $V_0 = 300 \text{ cm}^3$

$T_0 = 27^\circ\text{C}$

$T = 15^\circ\text{C}$

**Ditanyakan:**  $V$  saat 15°C

### Jawab:

Untuk mencari volume pada suhu 15°C, kita

dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} V &= V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} \Delta T \right) \\ &= 300 \times \left( 1 + \frac{1}{273} (15 - 27) \right) \\ &= 300 \times 1,045 \\ &= 313,2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Jadi, volume gas saat bersuhu 15°C adalah 313,2 cm<sup>3</sup>.

## Uji Kompetensi

1. Kalor laten mempunyai tiga jenis. Sebutkan dan jelaskan.
2. Kalor jenis air raksa adalah 0,033 kkal/kg C° dan titik leburnya – 39 °C. 1 kg air raksa padat bsrada pada suhu leburnya, diletakkan dalam kalorimeter aluminium 0,8 kg yang diisi dengan 2,5 kg air pada suhu 30°C. Jika temperatur akhir campuran sebesar 18°C, berapakah kalor lebur air raksa dalam kkal/kg?
3. Sebatang baja dengan panjang 1 m mempunyai suhu 25°C. Setelah dipanaskan hingga suhu 120°C, panjangnya menjadi 101 cm. Berapakah koefisien muai panjang baja tersebut?
4. Hitunglah perbedaan panjang rel pada cuaca paling dingin (– 37°C) dan cuaca paling panas (40°C) dari rel kereta api yang terbuat dari baja dengan panjang 150 m. Diketahui koefisien muai panjang baja  $1 \cdot 10^{-5} \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .
5. Sebuah plat yang terbuat dari tembaga dengan luas mula-mula 60 cm<sup>2</sup> mempunyai suhu 10°C. Apabila plat tersebut dipanaskan hingga 100°C, berapakah pertambahan luas plat tembaga tersebut?
6. Suatu gas mempunyai suhu 27°C dipanaskan pada tekanan tetap sehingga volumnya menjadi 3 kali semula. Hitunglah suhu akhir gas tersebut.
7. Suatu gas dipanaskan pada tekanan tetap sehingga suhunya naik dari 5°C menjadi 110°C. Bila volume gas sekarang 6 m<sup>3</sup>, berapakah volume gas semula?

## D. Perpindahan Kalor

Pada bahasan di depan, kita telah membahas pengertian suhu dan kalor. Kita dapat merasakan api panas karena energi yang berasal dari api dapat berpindah ke tubuh kita. Namun demikian, bagaimana cara energi panas yang dipunyai api berpindah ke dalam tubuh kita?



Kita telah mengetahui bahwa kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari benda dengan suhu tinggi ke benda dengan suhu rendah. Beberapa peristiwa sehari-hari banyak yang menunjukkan perpindahan kalor dari suhu tinggi ke suhu rendah. Untuk mengetahui cara perpindahan kalor tersebut, diskusikan beberapa kejadian pada *Eureka* berikut.

## Eureka

Diskusikan dengan teman sebangku kalian beberapa kejadian berikut. Kemudian jawablah pertanyaan yang diberikan.

1. Ketika kita memegang salah satu ujung sendok yang terbuat dari logam yang dicelupkan ke dalam gelas berisi air panas, tangan kita akan merasakan panas. Menunjukkan apakah kejadian ini?
2. Kita dapat merasakan panas di siang hari karena sinar matahari berpindah dari matahari ke bumi. Bagaimanakah cara perpindahan panas matahari ini?
3. Ketika kita memanaskan air di atas kompor, mengapa air yang mendidih terlebih dahulu adalah air bagian atas, bukan bagian bawah yang lebih dekat dengan api?
4. Carilah beberapa contoh dalam kehidupan sehari-hari yang menunjukkan bahwa kalor atau panas dapat merambat atau berpindah.

Presentasikan hasil diskusi kalian di depan kelas dengan arahan dari guru.

Ketiga peristiwa yang disebutkan dalam *Eureka* di atas menunjukkan bahwa kalor dapat berpindah. Secara garis besar, ada tiga macam cara perpindahan kalor, yaitu **hantaran (konduksi)**, **aliran (konveksi)**, dan **pancaran (radiasi)**. Mari kita bahas ketiga macam perpindahan kalor tersebut.

### 1. Hantaran (Konduksi)

Ketika memegang salah satu ujung sendok perak yang dicelupkan ke dalam gelas berisi air panas, tangan kita akan merasakan panas setelah beberapa saat. Dalam hal ini, air panas sebagai sumber kalor memberikan kalor kepada sendok. Kalor yang diterima ujung sendok akan diteruskan ke seluruh bagian sendok. Kejadian ini menandakan bahwa kalor dari air berpindah ke tangan melalui sendok, walaupun molekul-molekul air tidak ikut berpindah ke tangan. Perpindahan kalor seperti ini disebut **hantaran atau konduksi**. Jadi:

**Konduksi** adalah proses perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan molekul zat.

Dalam peristiwa tersebut, sendok perak merupakan salah satu jenis bahan yang dapat menghantarkan kalor dengan baik. Bahan seperti ini disebut **konduktor**. Sebagian besar logam, seperti seng, tembaga, aluminium, emas, perak, kuningan, dan lain-lainnya merupakan bahan konduktor. Selain bahan konduktor, ada juga bahan **isolator**, yaitu bahan



Gambar 7.17 Contoh peristiwa konduksi.

yang tidak dapat mengantarkan kalor dengan baik. Contoh bahan isolator antara lain, kayu, plastik, mika, keramik, gabus, dan lain sebagainya.

Seperti halnya gerak benda lainnya, gerakan kalor pada bahan konduktor juga mempunyai kelajuan. **Laju hantaran kalor** menyatakan banyaknya kalor yang mengalir tiap satuan waktu. Setiap konduktor akan menghantarkan kalor dengan kelajuan yang berbeda. Untuk mengetahui kelajuan kalor pada setiap bahan, coba kalian lakukan *Ekspedisi* berikut.

## **E**kspedisi

Percobaan sederhana ini dapat kalian lakukan sendiri di rumah. Alat dan bahan yang perlu kalian siapkan antara lain, lilin, korek api, mistar, stopwatch atau arloji, dan mentega. Siapkan pula kawat aluminium, kawat tembaga, kawat besi, dan kawat baja masing-masing 3 buah dengan diameter yang berbeda. Ukurlah diameter kawat yang kalian siapkan menggunakan mikrometer sekrup.

Buatlah bulatan-bulatan kecil dari mentega, lalu tusukkan salah satu ujung kawat. Ukurlah panjang kawat dari ujung satu ke bagian yang ada menteganya. Kemudian panaskan ujung kawat satunya pada nyala lilin sambil menghidupkan stopwatch. Matikan stopwatch ketika mentega mulai mencair. Ulangi percobaan ini dengan

menggunakan nyala lilin yang lebih kecil. Ulangi lagi untuk kawat lainnya. Nah, setelah melakukan percobaan ini, coba kalian jawab pertanyaan berikut.

1. Apakah diameter kawat memengaruhi kelajuan hantaran kalor?
2. Apakah jenis kawat memengaruhi kelajuan hantaran kalor?
3. Berdasarkan hasil percobaan kalian, perkirakan laju hantaran kalor pada kawat aluminium, tembaga, besi, dan kawat baja.
4. Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan kalian tersebut.

Tuliskan hasil pengamatan kalian pada buku catatan untuk dibandingkan dengan hasil percobaan teman yang lain keesokan harinya.

Berdasarkan hasil percobaan yang telah kalian lakukan, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa laju hantaran kalor dipengaruhi oleh jenis bahan konduktor, panjang kawat, dan diameter kawat. Selain itu, perbedaan suhu antara kedua ujung kawat juga memengaruhi laju hantaran kalor. Dalam hal ini kalor berpindah dari benda bersuhu tinggi menuju benda bersuhu lebih rendah.

Secara umum, kelajuan hantaran kalor pada pelbagai bahan dapat dihitung dengan persamaan:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$H = kA \frac{\Delta T}{l}$$

$$H = kA \frac{T_2 - T_1}{l}$$

**Keterangan:**  $H$  = laju hantaran kalor (J/s)

$\Delta Q$  = jumlah aliran kalor (J)

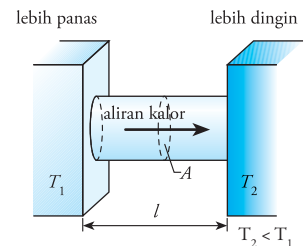
$\Delta t$  = selang waktu (s)

$k$  = konduktivitas termal (J/sm °C)

$A$  = luas penampang benda (m<sup>2</sup>)

$\Delta T = T_1 - T_2$  = perbedaan suhu kedua ujung (°C)

$l$  = jarak kedua ujung benda atau tebal benda (m)



**Gambar 7.18** Konduksi kalor pada benda yang mempunyai suhu berbeda.

Konduktivitas termal dari beberapa abhan dapat kalian lihat pada tabel berikut.

Bahan	k (J/sm°C)
Perak	420
Tembaga	380
Aluminium	200
Baja	40
Es	2
Udara	0,023

Giancoli I, 2001, hlm. 502.

Pada persamaan tersebut, kita mendapatkan tetapan **konduktivitas termal** yang menyatakan karakteristik termal zat yang bersangkutan. Untuk isolator, karakteristik termal biasanya dinyatakan sebagai **resistensi termal** (disimbolkan  $R$ ) yang dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$R = \frac{l}{k}$$

Amerika Serikat menggunakan satuan British untuk satuan resistensi termal yakni sebagai kaki<sup>2</sup>.jam F°/Btu. Namun, biasanya tidak dinyatakan dalam satuan apapun.

Nah, beberapa contoh berikut akan memperjelas penggunaan rumus tersebut. Coba kalian pelajari dengan sungguh-sungguh.

## Contoh

- Sebuah jendela kaca dengan luas penampang 3 m<sup>2</sup> dan tebal 3,5 mm, mempunyai suhu permukaan dalam 15°C dan suhu permukaan luar 14°C, hitung kecepatan hantaran aliran kalor. Berapa juga resistensi termalnya jika konduktivitas termalnya adalah 0,84 J/sm °C?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $A = 3 \text{ m}^2$   
 $l = 3,5 \text{ mm} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ m}$   
 $k = 0,84 \text{ J/sm}^\circ\text{C}$   
 $\Delta T = (15 - 14)^\circ\text{C} = 1^\circ\text{C}$

**Ditanyakan:**  $H$

**Jawab:**

Kelajuan hantaran kalor dapat dicari dengan rumus:

$$H = kA \frac{\Delta T}{l}$$

$$= 0,84 \times 3 \times \left( \frac{1}{3,5 \times 10^{-3}} \right)$$

$$= 720 \text{ J/s}$$

Sementara, resistensi termalnya adalah:

$$R = \frac{l}{k}$$

$$= \frac{(3,5 \times 10^{-3})}{0,84}$$

$$= 4,17$$

Jadi, kecepatan hantaran kalornya adalah

720 J/s, sedangkan resistensi termalnya adalah 4,17.

- Sebuah dinding tembok tebalnya 20 cm mempunyai konduktivitas termal 0,0017 kal/cms°C. Permukaan yang satu mempunyai suhu 30°C dan permukaan yang lain 20°C. Apabila luas permukaannya 10.000 cm<sup>2</sup>, berapa kalori banyaknya panas yang dihantarkan melalui m<sup>2</sup> dalam waktu 1 jam?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $l = 20 \text{ cm}$   
 $k = 0,0017 \text{ kal/cms}^\circ\text{C}$   
 $\Delta T = (30 - 20)^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$   
 $A = 10.000 \text{ cm}^2$   
 $\Delta t = 1 \text{ jam} = 3.600 \text{ s}$

**Ditanyakan:**  $\Delta Q$

**Jawab:**

Untuk mencari banyaknya kalor yang mengalir, gunakan persamaan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{l}$$

$$\Delta Q = kA \frac{\Delta T}{l} \Delta t$$

$$= 0,0017 \times 10.000 \times \left( \frac{10}{20} \right) \times 3.600$$

$$= 30.600 \text{ kal}$$

Jadi, banyaknya kalor yang dihantarkan oleh dinding tembok tersebut adalah 30.600 kal.

## 2. Aliran (Konveksi)

Zat cair dan gas umumnya bukan merupakan penghantar kalor yang sangat baik, akan tetapi dapat menghantarkan kalor cukup cepat dengan konveksi.

**Konveksi** adalah proses perpindahan panas (kalor) melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan molekul-molekul zat.

Konveksi dibagi menjadi dua jenis, yakni konveksi alamiah dan konveksi paksa.

**Konveksi Alamiah** pada fluida terjadi karena adanya perbedaan massa jenis. Contoh sederhana adalah peristiwa mendidihnya air. Coba kalian perhatikan air yang sedang mendidih. Ketika air akan mendidih, tampak gelembung-gelembung dari dasar panci atau wadah bergerak ke atas. Peristiwa ini terjadi karena air bagian bawah yang mendapatkan panas terlebih dahulu mempunyai massa jenis yang lebih kecil daripada air di bagian atas. Akibatnya, molekul air yang suhunya panas bergerak ke atas digantikan dengan air yang bersuhu lebih dingin. Kejadian ini terjadi terus menerus sehingga semua air di dalam wadah mendidih.

Contoh konveksi alamiah lainnya adalah asap yang bergerak ke atas. Ketika kita membakar sesuatu, udara panas di dekat api akan memuai sehingga massa jenisnya menjadi kecil. Sementara, udara dingin yang berada di sekitar api menekan udara panas ke atas. Akibatnya, terjadi arus konveksi udara pada udara dan asap bergerak ke atas.

Sementara itu, **konveksi paksa** terjadi saat fluida yang dipanasi langsung diarahkan ke tujuannya oleh sebuah peniup atau pompa. Contohnya dapat dilihat pada sistem pendingin mobil. Pada sistem pendingin mobil ini air diedarkan melalui pipa-pipa dengan bantuan pompa air. Contoh konveksi paksa lainnya adalah pengering rambut. Kipas dalam pengering rambut menarik udara di sekitarnya. Kemudian, meniupkan udara tersebut melalui elemen pemanas sehingga menghasilkan arus konveksi paksa.

Apabila suatu benda atau zat bersuhu tinggi memindahkan kalor ke fluida di sekitarnya secara konveksi, maka **laju aliran kalornya** sebanding dengan luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida dan sebanding dengan perbedaan suhu antara benda atau zat dan fluida. Laju aliran kalor secara konveksi dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = h A \Delta T$$

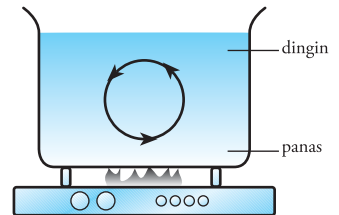
**Keterangan:**  $\Delta Q$  = jumlah kalor yang mengalir (J atau kal)

$h$  = koefisien konveksi (J/sm°C atau J/smK)

$A$  = luas penampang benda (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = perbedaan suhu antara benda dan fluida (°C)

**Koefisien konveksi**  $h$  berhubungan pada bentuk dan posisi permukaan yang bersentuhan dengan fluida. Besar nilai  $h$  didapat dari hasil percobaan. Bagaimana, mudah bukan? Untuk melengkapi keterangan tersebut, pelajailah contoh soal berikut.



Gambar 7.19 Contoh peristiwa yang menunjukkan konveksi alamiah.



Gambar 7.20 Mekanisme kerja hair dryer menggunakan konveksi paksa.

## Contoh

Dinding sebuah rumah dijaga bersuhu tetap  $25^{\circ}\text{C}$  pada suatu hari dengan suhu udara luar  $15^{\circ}\text{C}$ . Berapakah kalor yang hilang karena konveksi alamiah pada dinding yang berukuran  $(4 \times 5) \text{ m}^2$  selama 2 jam, jika koefisien konveksi  $2,5 \text{ J/sm}^2 \text{ K}$ ?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\Delta T = (25 - 15)^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C} = 10 \text{ K}$

$\Delta t = 2 \text{ jam} = 7.200 \text{ s}$

$A = (4 \times 5) = 20 \text{ m}^2$

$h = 2,5 \text{ J/sm}^2 \text{ K}$

**Ditanyakan:**  $\Delta Q$

**Jawab:**

Untuk mencari jumlah kalor, gunakan persamaan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = h A \Delta T$$

$$\begin{aligned}\Delta Q &= h A \Delta T \Delta t \\ &= 2,5 \times 20 \times 10 \times 7.200 \\ &= 3,6 \times 10^6 \text{ J}\end{aligned}$$

Jadi, kalor yang hilang pada peristiwa konveksi alamiah adalah  $3.600 \text{ J}$ .

### 3. Pancaran (Radiasi)



Gambar 7.21 Peristiwa radiasi.

Istilah radiasi mungkin sudah tidak asing lagi di telinga kalian. Kita semua telah mengetahui bahwa matahari merupakan sumber energi utama bagi bumi. Tanpa matahari mustahil manusia dapat hidup di bumi. Inilah salah satu tanda ke-Maha Besaran Tuhan Yang Maha Esa.

Walaupun matahari berada pada jarak yang jauh dari bumi, yaitu sekitar 150 juta kilometer, tetapi energi atau panas yang dihasilkan dapat kita rasakan. Ini menunjukkan bahwa panas atau energi matahari dapat berpindah atau mengalir ke daerah di sekitarnya. Contoh sederhana adalah saat berjalan di siang hari yang cerah, kita akan melihat dan merasakah panas matahari.

Sebelum memasuki atmosfer bumi, panas merambat pada ruang hampa udara. Dengan kata lain, panas matahari dapat merambat tanpa zat perantara. Pancaran panas matahari sering disebut sebagai sinar atau cahaya matahari yang merupakan gelombang elektromagnetik. Proses perpindahan kalor seperti ini disebut **radiasi**, yaitu **perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik**.

Contoh lain dari adanya peristiwa radiasi adalah suhu susu akan lebih tahan lama jika berada dalam gelas berwarna hitam atau kusam daripada jika gelasnya putih. Hal ini disebabkan karena permukaan hitam atau kusam merupakan penyerap atau pemancar kalor radiasi yang baik. Sementara, permukaan yang mengilat atau putih adalah pemancar kalor radiasi yang buruk. Contoh kedua adalah dengan mengenakan pakaian putih di terik mentari akan terasa lebih sejuk dibandingkan ketika mengenakan pakaian hitam.

Lantas, bagaimana cara kita menentukan besarnya kelajuan radiasi suatu benda atau zat? Besarnya laju radiasi dapat kita hitung sesuai dengan **hukum Stefan-Boltzman** yang menyatakan:

“Energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan hitam dalam bentuk radiasi kalor tiap satuan waktu sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak (K) permukaan itu”.

Dengan demikian, kita dapat menuliskan dengan persamaan kelajuan radiasi kalor ( $H$ ) sebagai berikut.

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sigma A T^4$$

Persamaan tersebut berlaku untuk benda hitam sempurna. Namun, karena tidak semua benda dapat dianggap benda hitam sempurna, maka persamaan di atas perlu ditambah faktor **emisivitas** benda. Jadi, untuk benda tidak hitam, laju pancaran radiasi dapat dihitung dengan rumus:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \sigma A T^4$$

**Keterangan:**  $H$  = laju radiasi kalor (J/s)  
 $\Delta Q$  = jumlah kalor radiasi yang mengalir (J)  
 $\Delta t$  = selang waktu (s)  
 $A$  = luas permukaan benda pemancar ( $m^2$ )  
 $T$  = suhu benda (K)  
 $\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )  
 $e$  = emisivitas benda ( $0 < e \leq 1$ )

**Emisivitas** merupakan karakteristik suatu benda yang bergantung pada jenis zat dan permukaannya. Permukaan yang hitam, seperti arang mempunyai emisivitas yang mendekati 1, yang berarti dapat memancarkan dan menyerap radiasi sangat baik. Sementara, permukaan yang mengkilat mempunyai emisivitas yang mendekati 0 yang menunjukkan benda kurang baik dalam memancarkan dan menyerap radiasi.

Suatu benda yang memancarkan radiasi ke lingkungan dapat kita ukur kecepatan total aliran kalor radiasinya menggunakan persamaan:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

**Keterangan:**  $T_1$  = suhu benda (K)  
 $T_2$  = suhu lingkungan di sekitar (K)

Radiasi banyak dimanfaatkan dalam keseharian, misalnya api unggun, pengidangan rumah, pengeringan padi, dan sebagainya. Sementara, pada bidang teknologi radiasi dimanfaatkan untuk termos guna mencegah perpindahan kalor, efek rumah kaca, pemanggang (*oven*), dan lain-lain.

## Mozaiik

Tahukan kalian bahwa sekitar 1.350 J energi matahari menimpa atmosfer bumi tiap sekon per meter persegi luas jika berkas matahari jatuh tegak lurus luasan tersebut. Angka 1.350 J atau 1.350 W/m<sup>2</sup> dinamakan angka **matahari**. Atmosfer dapat menyerap sekitar 70% dari energi ini sebelum mencapai tanah. Pada hari yang cerah, sekitar 1.000 J dapat sampai permukaan bumi. Untuk kasus ini, kita dapat menghitung laju pancaran radiasi matahari dengan persamaan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (1.000 \text{ W/m}^2) e A \cos \theta$$

dengan  $\theta$  menyatakan sudut antara berkas sinar matahari dengan garis yang tegak lurus daerah luasan A.

Giancoli I, 2001, halaman 509.

## Contoh

Seutas kawat lampu pijar mempunyai luas permukaan  $40 \text{ mm}^2$  dengan suhu  $1.127^\circ\text{C}$ . Andaikan kawat pijar dianggap sebagai benda hitam sempurna, berapa kalor yang diradiasikan oleh kawat tersebut dalam 1 jam?

### Penyelesaian:

**Diketahui:**  $A = 40 \text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

$$T = 1.127^\circ\text{C} = 1.400 \text{ K}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$$e = 1$$

$$\Delta t = 1 \text{ jam} = 3.600 \text{ s}$$

**Ditanyakan:**  $\Delta Q$

### Jawab:

Untuk mencari  $\Delta Q$ , kita dapat menggunakan persamaan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \sigma A T^4$$

$$\Delta Q = e \sigma A T^4 \Delta t$$

$$= 1 \times (5,67 \times 10^{-8}) \times (4 \times 10^{-5}) \times (1.400)^4 \times 3.600$$

$$= 31.365,90 \text{ J}$$

Jadi, kalor yang diradiasikan adalah sekitar 31,37 kJ.

Baiklah, kalian sudah mengetahui beberapa contoh penggunaan persamaan kecepatan radiasi di atas. Kalian tentu ingin menambah pengetahuan tentang cara penghantaran kalor ini. Untuk itu, kalian dapat mengerjakan *Uji Kompetensi* berikut sebagai ajang latihan.

## Uji Kompetensi

1. Sebutkan dan jelaskan ketiga cara perpindahan kalor.
2. Sebuah ketel tembaga ditempatkan di atas api kompor gas. Luas dasar ketel itu  $180 \text{ cm}^2$  dan tebalnya  $1,5 \text{ mm}$ . Di dalam ketel terdapat air yang sedang mendidih pada  $100^\circ\text{C}$  dan suhu permukaan luar ketel adalah  $150^\circ$ . Bila konduktivitas termal tembaga  $0,918 \text{ kal/cm s } ^\circ\text{C}$ , berapa banyaknya kalor yang dipindahkan tiap menit melalui dasar ketel?
3. Sebuah ruang dengan pendingin AC mempunyai kaca jendela yang luasnya  $2 \text{ m}^2$  dan tebal  $3 \text{ mm}$ . Jika suhu pada permukaan dalam kaca  $24^\circ\text{C}$  dan suhu permukaan luar kaca adalah  $30^\circ\text{C}$ , berapa laju konduksi yang masuk dalam ruang tersebut?
4. Sebuah logam yang tebalnya  $4 \text{ mm}$  dengan perbedaan suhu antara keduanya  $17^\circ\text{C}$  dilalui oleh kalor sebanyak  $100 \text{ kkal/jam}$  setiap  $\text{cm}^2$  luas pemampangnya. Berapakah konduktivitas termalnya?
5. Dinding sebuah rumah dijaga bersuhu tetap  $25^\circ\text{C}$  pada suatu hari dengan suhu udara luar  $18^\circ\text{C}$ . Jika  $h = 2,5 \text{ J/sm}^2 \text{ K}$ , berapakah kalor yang hilang karena konveksi alamiah pada dinding yang berukuran  $30 \text{ m}^2$  selama 30 menit?
6. Sebuah benda hitam berbentuk bola dengan jari-jari  $5 \text{ cm}$  dijaga pada suhu konstan  $300^\circ\text{C}$ . Berapa laju kalor yang dipancarkan?



- Perbandingan skala suhu Celcius (R), Reamur, dan Fahrenheit (F) adalah:  
 $C : R : F = 100 : 80 : 180 = 5 : 4 : 9$   
 Sementara, suhu Kelvin dapat kita cari menggunakan persamaan:  
 $T = 273 + t^{\circ}\text{C}$
- Kalor jenis zat didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan 1 suhu  $^{\circ}\text{C}$  atau 1 K per 1 kg massa zat. Kalor jenis dapat dicari dengan persamaan:  

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$
- Kapasitas kalor adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu benda sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau 1 K.  

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$
- Asas Black menyatakan bahwa jumlah kalor yang dilepas sama dengan jumlah kalor yang diterima. Benda dengan suhu tinggi melepaskan kalor, sedang benda bersuhu rendah akan menyerap kalor. Asas Black dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:  

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}}$$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2$$

$$m_1 c_1 (T_1 - T_c) = m_2 c_2 (T_c - T_2)$$
- Kalor laten adalah kalor yang dapat diperlukan atau dilepas saat terjadi perubahan fase atau wujud per satuan massa.  

$$Q = mL$$
- Koefisien muai panjang dihitung dengan persamaan:  

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 + \alpha(t - t_0)}$$
- Luas suatu benda yang memuai dapat dicari dengan rumus:  
 $A = A_0 (1 + \beta \Delta T)$  atau  $A = A_0 (1 + 2\alpha \Delta T)$   
 Bisa juga ditulis:  

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T}$$
- Persamaan untuk muai volume adalah:  
 $V = V_0 (1 + 3\alpha \Delta T)$  atau  $V = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$   
 Biasa juga ditulis:  

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}$$
- Perubahan volume gas pada tekanan konstan dapat dihitung melalui persamaan:  
 $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$  atau  $V = V_0 (1 + \frac{1}{273} \Delta T)$
- Kelajuan aliran kalor konduksi dapat dihitung dengan persamaan:  

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{l}$$
- Kelajuan aliran kalor melalui peristiwa konveksi dihitung dengan persamaan:  

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA \Delta T$$
- Kelajuan aliran kalor melalui peristiwa radiasi dapat dihitung dengan persamaan:  

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \sigma A T^4$$



## Telaah Istilah

**Emisivitas** Suatu ukuran besar pemancaran radiasi kalor suatu benda disbanding dengan benda hitam sempurna

**Kalor** Energi yang berpindah dari zat yang suhunya lebih tinggi menuju zat yang suhunya lebih rendah

**Kalor laten** Kalor yang dapat diperlukan atau juga dapat dibuang saat terjadinya perubahan fase/wujud per satuan massa

**Kalor jenis** Jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1\text{ K}$  per  $1\text{ kg}$  massa zat.

**Konduksi** Perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan molekul zat

**Konveksi** Proses perpindahan panas (kalor) melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan molekul-molekul zat

**Memuai** Bertambahnya panjang, luas, volum zat padat atau zat alir

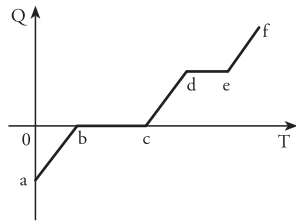
**Perubahan wujud benda** Perubahan suatu materi dari suatu wujud ke wujud yang lain

**Radiasi** Perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik

**Suhu** Derajat panas atau dingin suatu benda

## Ulangan Harian

### A Pilihlah jawaban yang paling tepat

- Derajat dingin atau panas dari suatu benda disebut . . .
  - kalor
  - suhu
  - wujud benda
  - pemuain
  - embun
- Suatu zat cair yang telah mencapai suhu pada titik didihnya jika dipanaskan terus, maka zat cair tersebut akan . . .
  - bertambah suhunya
  - suhunya naik dengan cepat
  - suhunya naik dengan lambat
  - suhunya tetap
  - lambat mencair
- Banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1\text{ K}$  adalah . . .
  - koefisien muai
  - konduktivitas termal
  - kapasitas kalor
  - kalor jenis
  - suhu
- Perubahan wujud dari padat ke cair disebut . . .
  - membeku
  - menguap
  - melebur
  - mengembun
  - menyublim
- Perhatikan grafik berikut.

Berdasarkan grafik tersebut, yang menunjukkan suatu zat melebur adalah . . .

  - ab
  - bc
  - cd
  - de
  - ef
- Dua gelas masing-masing berisi  $0,2\text{ kg}$  air dengan suhu  $70^{\circ}\text{C}$  dan  $0,3\text{ kg}$  air pada  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika air dalam gelas dicampur maka

- suhu campuran adalah ... °C.
- 38
  - 39
  - 40
  - 41
  - 42
- Jumlah kalor yang dilepas suatu zat sama dengan jumlah kalor yang diterima merupakan bunyi ....
    - Asas Doppler
    - Asas Black
    - Hukum Newton
    - Hukum Gay Lussac
    - Hukum Pascal
  - Sebatang baja yang mempunyai panjang 2 m bertambah panjang 1 mm dari 0°C menjadi 100°C. Koefisien muai panjang baja adalah ... /°C.
    - $5 \times 10^{-6}$
    - $5 \times 10^{-5}$
    - $5 \times 10^{-4}$
    - $5 \times 10^5$
    - $5 \times 10^6$
  - Pertambahan panjang benda yang panjangnya satu satuan panjang (m) dengan adanya kenaikan suhu sebesar satu satuan suhu disebut ....
    - muai panjang
    - muai luas
    - muai volume
    - koefisien muai
    - konduktivitas termal
  - Ban sepeda yang meletus karena panas merupakan contoh peristiwa ....
    - pemuaian panjang
    - pemuaian luas
    - pemuaian volume
    - pemuain panjang dan luas
    - pemuaian panjang dan volume
  - Hubungan koefisien muai volume dengan koefisien muai panjang adalah. ....
    - $\beta = 2\alpha$
    - $\beta = 3\alpha$
    - $\gamma = 2\alpha$
    - $\gamma = 3\alpha$
    - $\gamma = \alpha$
  - Zat yang mempunyai sifat anomali air adalah ....
    - benzene
    - aseton
    - spiritus
    - alkohol
    - bismuth
  - Pada suhu 5°C volume udara sebuah pompa adalah 50 cm<sup>3</sup>. Penekanan penghisap menyebabkan suhu meningkat menjadi 20°C. Jadi, volume udara dalam pompa saat ini adalah ... cm<sup>3</sup>.
    - 25,75
    - 35,57
    - 36,60
    - 52,75
    - 71,65
  - Proses perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan molekul zat disebut ....
    - perpindahan
    - pemuaian
    - konduksi
    - konveksi
    - radiasi
  - Contoh perpindahan konduksi adalah. ....
    - ujung sendok yang dipanaskan
    - tangan di atas api lilin
    - pembakaran sampah
    - api unggun
    - pendiang rumah
  - Suatu besaran yang besarnya berbanding terbalik dengan konduktivitas termal ( $k$ ) dan berbanding lurus dengan panjang suatu benda ( $l$ ) dinamakan ....
    - konduktivitas
    - resistensi termal
    - koefisien muai panjang
    - koefisien muai volume
    - temperatur
  - Sumber utama masuknya kalor dalam ruang yang bersuhu rendah dari bagian luar ruang yang lebih tinggi adalah melalui jendela kaca dengan luas 10 m<sup>2</sup> dan tebal 3 mm. Jika suhu permukaan dalam kaca 20°C dan suhu pada permukaan luar 30°C,

maka laju konduksi kalor yang masuk adalah ... J/s.

- a.  $8 \times 10^4$
- b.  $16 \times 10^3$
- c.  $28 \times 10^4$
- d.  $38 \times 10^4$
- e.  $46 \times 10^3$

18. Pergerakan fluida akibat perbedaan massa jenis disebut ...
- a. konveksi alamiah
  - b. konduksi
  - c. konveksi paksa
  - d. radiasi
  - e. arus konveksi
19. Yang merupakan contoh pemanfaatan radiasi adalah ...
- a. perapian dalam rumah
  - b. sistem suplai air panas
  - c. ac mobil
  - d. efekrumah kaca
  - e. setrika listrik
20. Besar dari tetapan Stefan–Blotzman adalah ...  $\text{W/m}^2\text{K}^4$ .
- a.  $5,57 \times 10^{-6}$
  - b.  $5,57 \times 10^{-7}$
  - c.  $5,57 \times 10^{-8}$
  - d.  $5,57 \times 10^{-9}$
  - e.  $5,57 \times 10^{-10}$

**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

1. Suatu hari seorang ibu melihat anaknya sedang terbaring tidak berdaya. Kemudian ibu tersebut mengambil batang termometer dan di masukkan ke mulut anaknya. Ternyata, termometer tersebut menunjuk angka  $40^\circ\text{C}$ . Nyatakan suhu badan anak tersebut dalam skala Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin.
2. Sebuah gelas (kapasitas panas diabaikan) berisi air 100 gram dengan suhu 300 K. Kemudian dalam gelas itu juga diberi air 150 gram yang suhunya 343 K. Berapakah suhu air setelah tercampur?
3. Baterai *handphone* yang di-charge dalam waktu yang melebihi ketentuan dan di-

lakukan berulang-ulang, maka baterai tersebut akan sedikit mengembung. Kenapa hal tersebut terjadi?

4. Air jika dipanaskan maka suhunya akan mengalami kenaikan. Bila massa air ditambah setengah massa sebelumnya dan suhu dinaikkan 2 kali sebelumnya, berapa kalor yang dibutuhkan pada pemanasan tersebut?
5. Berapa joule kalor yang diperlukan untuk melebur 0,4 kg aluminium yang suhunya  $28^\circ\text{C}$ ? Diketahui titik lebur aluminium  $660^\circ\text{C}$ , kalor lebur  $3,80 \times 10^5 \text{ JKg}^{-1}$ , dan kalor jenisnya  $9,1 \times 10^2 \text{ JKg}^{-1}\text{C}^{-1}$ .
6. Suatu plat tembaga mempunyai luas  $40 \text{ cm}^2$  dan suhunya  $30^\circ\text{C}$ . Kemudian plat dipanaskan hingga suhunya  $100^\circ\text{C}$ . Jika koefisien panjang tembaga  $1,7 \times 10^{-5} \text{ J/m}$ , hitunglah luas plat tembaga setelah dipanaskan.
7. Anto duduk tanpa pakaian di kamar ganti yang dindingnya gelap pada temperatur  $20^\circ\text{C}$ . Hitunglah kecepatan kehilangan kalor dengan radiasi jika suhu kulit saat itu  $35^\circ\text{C}$  dan  $e = 0,7$ . Anggap permukaan tubuh Anto yang tidak bersentuhan dengan kursi sebesar  $1,5 \text{ m}^2$ .
8. Sebutkan dan jelaskan, cara perpindahan kalor.
9. Dua lampu pijar yang perbandingan luasnya 3 : 1 masing-masing bersuhu  $177^\circ\text{C}$  dan  $627^\circ\text{C}$ . Jika emisivitas keduanya sama, berapa perbandingan daya pancar keduanya?
10. Suhu pada permukaan matahari kira-kira 6.000 K. Jika matahari dianggap sebagai benda hitam ideal, berapa banyakkah kalor yang diterima oleh permukaan bumi dari matahari?

## Latihan Ulangan Tengah Semester II

### A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

1. Apabila seberkas cahaya datang pada permukaan yang tidak rata, maka akan terjadi ....
  - a. pemantulan sempurna
  - b. pemantulan teratur
  - c. pemantulan baur
  - d. pemantulan sebagian
  - e. pembiasan baur
2. Sifat bayangan yang dibentuk cermin datar selalu ....
  - a. nyata, tegak, dan diperbesar
  - b. nyata, tegak, dan diperkecil
  - c. maya, terbalik, dan sama besar
  - d. maya, terbalik, dan diperbesar
  - e. nyata, tegak, dan sama besar
3. Amin berdiri di depan cermin datar. Bagian bawah cermin berada pada ketinggian tertentu dari lantai. Tinggi badan Amin 160 cm, sedangkan jarak mata dengan kepala bagian atas adalah 10 cm. Tinggi dan panjang cermin yang dipakai agar seluruh badan Amin tampak di cermin berturut-turut adalah ... cm.
  - a. 80 dan 75
  - b. 80 dan 60
  - c. 75 dan 80
  - d. 75 dan 60
  - e. 60 dan 80
4. Sebuah lilin diletakkan di depan cermin cekung pada jarak 3 cm. Jika jarak titik api cermin adalah 4,5 cm, jarak dan letak bayangan adalah ....
  - a. 9 cm di depan cermin
  - b. 9 cm di belakang cermin
  - c. 6 cm di depan cermin
  - d. 3 cm di depan cermin
  - e. 3 cm di belakang cermin
5. Kecepatan cahaya di ruang hampa adalah  $3 \times 10^8$  m/s. Ketika melewati suatu medium, kecepatannya berkurang menjadi  $1,5 \times 10^8$  m/s. Indeks bias medium tersebut adalah ....
  - a. 2
  - b. 1,5
  - c. 1
  - d. 0,5
  - e. 0,2
6. Seberkas sinar laser diarahkan ke dalam air hingga membentuk sudut  $60^\circ$  terhadap permukaan air. Jika indeks bias air  $\frac{4}{3}$  dan indeks bias udara 1, sinus sudut biasnya bernilai ....
  - a.  $\frac{4}{3}\sqrt{3}$
  - b.  $\frac{2}{3}\sqrt{3}$
  - c.  $\frac{3}{8}\sqrt{3}$
  - d.  $\frac{3}{8}$
  - e.  $\frac{4}{3}$
7. Arman berdiri di tepi kolam sambil memerhatikan seekor ikan tepat di bawahnya. Menurut Abdullah, ikan tersebut berada pada kedalaman 50 cm. Jika indeks bias air  $\frac{4}{3}$  dan indeks bias udara 1, maka kedalaman ikan sebenarnya adalah ... cm.
  - a. 37,5
  - b. 42,5
  - c. 56,67
  - d. 62,5
  - e. 66,67
8. Cacat mata yang menyebabkan seseorang tidak dapat melihat benda-benda pada jarak jauh tak terhitung disebut ....
  - a. hipermetropi
  - b. astigmatisme
  - c. presbiopi

- d. miopi
  - e. katarak
9. Sebuah mikroskop menggunakan lensa objektif dan lensa okuler yang masing-masing mempunyai fokus 1 cm dan 2 cm. Bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif berada pada jarak 15 cm dari lensa okuler. Jika dilihat dengan mata berakomodasi maksimum, perbesaran total dan panjang mikroskop adalah . . . .
    - a. 189 kali dan 16,85 cm
    - b. 149 kali dan 16,85 cm
    - c. 18,9 kali dan 12,25 cm
    - d. 14 kali dan 12,25 cm
    - e. 13,5 kali dan 15 cm
  10. Seorang siswa mengamati benda kecil menggunakan lup yang berjarak fokus 10 cm. Jika benda diletakkan di titik fokus lup, perbesaran lup adalah . . . kali.
    - a. 5 kali
    - b. 3,5 kali
    - c. 2,5 kali
    - d. 1,5 kali
    - e. 1 kali
  11. Kemampuan suatu benda saat menerima atau menurunkan suhu benda sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau 1 K disebut . . . .
    - a. koefisien muai
    - b. konduktivitas termal
    - c. kapasitas kalor
    - d. kalor jenis
    - e. suhu
  12. Suhu air di atas kompor jika diukur dengan termometer celcius menunjukkan suhu  $43^{\circ}\text{C}$ . Suhu tersebut jika dinyatakan dalam Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin berturut-turut adalah . . . .
    - a. 320 R, 135 F, dan  $34,4^{\circ}\text{R}$
    - b. 135 R,  $34,4^{\circ}\text{F}$ , dan 3320 K
    - c. 75 R, 135 F, dan 3280 K
    - d.  $34,4^{\circ}\text{R}$ , 135 F, dan 3320 K
    - e.  $34,4^{\circ}\text{R}$ , 135 F, dan 3120 K
  13. Pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  suatu zat bermassa 200 gram mempunyai kalor jenis  $140 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ . Untuk menaikkan suhunya menjadi  $40^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan kalor sebesar . . . .
    - a. 1.120 kJ
    - b. 560 kJ
    - c. 1.120 J
    - d. 560 J
    - e. 280 J
  14. Jika 72 gram air bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$  dicampurkan dengan 50 gram air bersuhu  $100^{\circ}\text{C}$ , maka suhu akhir campuran adalah . . .  $^{\circ}\text{C}$ .
    - a. 25
    - b. 40
    - c. 60
    - d. 65
    - e. 75
  15. Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , sebatang baja mempunyai panjang 2 m. Kemudian, pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , baja tersebut mengalami pertambahan panjang 1 mm. Koefisien muai panjang baja adalah . . .  $^{\circ}\text{C}$ .
    - a.  $5 \times 10^{-6}$
    - b.  $5 \times 10^{-5}$
    - c.  $5 \times 10^{-4}$
    - d.  $5 \times 10^{-5}$
    - e.  $5 \times 10^{-6}$
  16. Anis menyiapkan minuman es teh dalam suatu wadah untuk pekerja di rumahnya. Ia mencampurkan 0,5 kg es bersuhu  $-5^{\circ}\text{C}$  dengan 1 kg air teh bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Apabila pertukaran kalor hanya terjadi pada kedua benda, maka suhu akhir minuman tersebut adalah . . .  $^{\circ}\text{C}$ . ( $c_{\text{es}} = 2.100 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$  dan  $c_{\text{air}} = 4.200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ ).
    - a. 68
    - b. 70
    - c. 100
    - d. 970,31
    - e. 1.007
  17. Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , suatu logam mempunyai panjang 75 cm. Setelah dipanasi hingga

suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , panjangnya menjadi  $75,09\text{ cm}$ . Koefisien muai panjang logam tersebut adalah  $\dots/^{\circ}\text{C}$ .

- $2,4 \times 10^{-5}$
  - $1,2 \times 10^{-5}$
  - $6 \times 10^{-6}$
  - $2,4 \times 10^{-6}$
  - $1,2 \times 10^{-6}$
18. Perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan molekul zat disebut  $\dots$ .
- radiasi
  - konduksi
  - konveksi
  - kohesi
  - subduksi
19. Salah satu ujung dari sebuah kawat dengan luas penampang  $2\text{ mm}^2$  dan panjang  $1,5\text{ m}$  dipanaskan sehingga suhunya menjadi  $50^{\circ}\text{C}$ . Jika suhu pada ujung lainnya adalah  $25^{\circ}\text{C}$  dan konduktivitas termal kawat  $40\text{ J/ms}^{\circ}\text{C}$ , jumlah kalor yang mengalir dalam 5 sekon adalah  $\dots\text{ J}$ .
- $2,66 \times 10^{-5}$
  - $7,5 \times 10^{-5}$
  - $1,33 \times 10^{-6}$
  - $6,67 \times 10^{-6}$
  - $8,0 \times 10^{-6}$
20. Dua buah batang yang berbeda jenis dan suhu, tetapi memiliki luas penampang yang sama ditempelkan satu sama lain. Batang pertama bersuhu  $90^{\circ}\text{C}$ , sedangkan batang kedua bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika koefisien termal batang pertama sama dengan dua kali batang kedua, maka suhu di tempat keduanya menempel adalah  $\dots^{\circ}\text{C}$ .
- 45
  - 55
  - 60
  - 72
  - 80

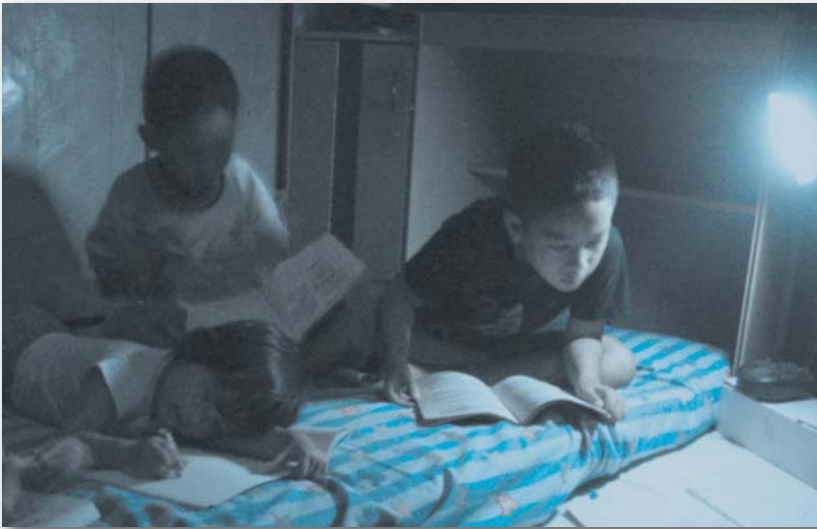
## B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

- Sebuah benda setinggi  $4\text{ cm}$  berada di depan cermin pada jarak  $6\text{ cm}$ . Panjang titik fokus cermin adalah  $4\text{ cm}$ . Gambarkan pembentukan, tinggi, dan jarak bayangan benda pada:
  - cermin cekung
  - cermin cembung
- Gambarkan dan sebutkan fungsi dari komponen penyusun mata. Sebutkan pula macam-macam cacat mata dan jelaskan cara mengatasi cacat mata tersebut.
- Sebuah benda setinggi  $20\text{ cm}$  berada di depan cermin cekung sejauh  $20\text{ cm}$ . Jika jari-jari kelengkungan cermin tersebut adalah  $25\text{ cm}$ , tentukan:
  - pembentukan bayangan benda.
  - letak bayangan dan sifat bayangan
  - perbesaran bayangan.
- Seekor ikan berada di dalam akuarium berbentuk bola. Ikan tersebut berada pada jarak  $8\text{ cm}$  dari dinding akuarium yang tipis. Sementara itu, seekor kucing berada pada jarak  $40\text{ cm}$  di samping akuarium. Jika indeks bias air  $\frac{4}{3}$  dan indeks bias udara 1, tentukan:
  - jarak ikan dari dinding menurut kucing
  - jarak kucing dari dinding menurut ikan
- Sebuah mikroskop menggunakan lensa obyektif dan okuler dengan panjang fokus masing-masing adalah  $2\text{ cm}$  dan  $4\text{ cm}$ . Jika benda yang diamati diletakkan pada jarak  $1,5\text{ cm}$  dari lensa obyektif, tentukan:
  - gambar jalannya sinar
  - perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi
  - perbesaran mikroskop untuk mata tidak berakomodasi

6. Jelaskan dan berilah contoh cara perpindahan kalor.
7. Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , sebuah bola berongga memiliki diameter 7 cm yang terbuat dari perunggu dan koefisien termalnya  $1,8 \times 10^{-5}$ . Jika bola dipanaskan hingga suhu  $80^{\circ}\text{C}$ , tentukan:
  - a. massa bola sebelum dipanasi
  - b. massa bola setelah dipanasi
8. Sebuah logam bermassa 400 g dipanaskan sampai suhu  $350^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, logam itu dimasukkan ke dalam 600 g air bersuhu  $25^{\circ}\text{C}$ , yang ditempatkan pada bejana kalorimeter aluminium 200 g. Diketahui suhu akhir campuran adalah  $40^{\circ}\text{C}$ . Jika kalor jenis air  $4.200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$  dan kalor jenis bahan kalorimeter adalah  $900 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ , hitunglah kalor jenis logam tersebut.
9. Pada suhu leburnya, 1 kg air raksa padat diletakkan dalam kalorimeter aluminium 0,8 kg yang diisi dengan 2,5 kg air pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Jika temperatur akhir campuran sebesar  $18^{\circ}\text{C}$ , berapakah kalor lebur air raksa dalam kkal/kg? (Diketahui kalor jenis air raksa =  $0,033 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C}$  dan titik lebur air raksa =  $-39^{\circ}\text{C}$ ).
10. Sebuah ketel tembaga dipanaskan di atas kompor gas. Luas dan tebal dasar ketel itu adalah  $180 \text{ cm}^2$  dan 1,5 mm. Di dalam ketel terdapat air yang sedang mendidih pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Sementara itu suhu pada permukaan luar ketel adalah  $150^{\circ}\text{C}$ . Bila konduktivitas termal tembaga adalah  $0,918 \text{ kal/cm s}^{\circ}\text{C}$ , berapakah jumlah kalor yang dipindahkan tiap menit melalui dasar ketel?

## B a b VIII

# Listrik Dinamis



*dok. PIM*

Saat meraih prestasi di sekolah, kita wajib bersyukur kepada Tuhan. Setelah itu, tak ada salahnya jika sesekali kita berterima kasih pula kepada Thomas Alva Edison. Sebab, tanpa karyanya, mungkin kita tak akan menikmati terangnya lampu listrik untuk belajar di malam hari. Setuju?

Selain sebagai penerangan, listrik dapat juga dimanfaatkan untuk menyalakan televisi, radio, komputer, dan masih banyak lainnya. Sebagai konsekuensi pemakaian listrik, kita wajib membayar rekening listrik setiap bulan, sesuai dengan kuantitas yang kita gunakan. Lalu bagaimanakah Perusahaan Listrik Negara menghitung jumlah listrik yang kita pakai? Semuanya akan dijelaskan pada bab ini.



## Kata Kunci

- Besaran listrik
- Alat ukur listrik
- Hukum Ohm
- Hukum Khirchoff
- Alternating Current (AC)
- Direct Current (DC)

Pada bab ini, kalian akan diajak untuk mengenal besaran-besaran listrik dan jenis-jenis alat ukur listrik, seperti amperemeter, voltmeter, multimeter, dan alat ukur lainnya. Dengan panduan eksperimen sederhana, kalian akan dibimbing agar mengetahui cara menggunakan alat ukur listrik tersebut. Dengan demikian, kalian dapat melakukan eksperimen secara mandiri untuk mengetahui besar dan arah kuat arus listrik dalam rangkaian listrik, besar hambatan listrik, dan besar tegangan listrik.

Selain itu, kalian juga diharapkan dapat menjelaskan arti tulisan yang tertera pada alat listrik dan menghitung energi listrik yang digunakan alat tersebut. Lebih jauh lagi, kalian dapat menjelaskan penggunaan listrik, baik listrik searah (DC) atau listrik bolak-balik (AC) dalam kehidupan sehari-hari. Yang paling penting adalah kesadaran kalian untuk menghemat pemakaian listrik. Karena dengan berhemat, krisis listrik yang sering dialami beberapa daerah dapat diatasi. Untuk jangka panjang, kalian diharapkan mampu menciptakan sumber energi listrik alternatif sebagai pengganti sumber minyak yang semakin menipis, seperti sekarang.

### A Besaran Listrik dan Alat Ukur Listrik

Listrik telah menjadi bagian dari hidup kita. Tanpa listrik, kita tidak akan mengalami kemajuan seperti sekarang. Nah, karena sudah tidak asing lagi dengan listrik, kalian pasti bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan pada *Eureka* di bawah ini.

### Eureka

Diskusikan jawaban pertanyaan-pertanyaan berikut dengan teman sebangku kalian .

1. Cobalah kalian amati lampu bohlam atau lampu TL. Pada lampu tersebut, terdapat tulisan, misalnya 5 W 220 V. Angka dan huruf tersebut menunjukkan apa?
2. Di depan rumah kita dipasang “meteran listrik”. Apakah fungsi meteran tersebut? Pada meteran listrik juga terdapat angka yang berputar dan di depannya tertulis kWh. Angka dan huruf pada meteran itu menunjukkan apa?
3. Saat mempelajari bab listrik, kita mengenal beberapa besaran antara lain tegangan, arus, hambatan, daya listrik, dan energi listrik. Coba kalian jelaskan pengertian dari setiap besaran tersebut. Alat apakah yang digunakan untuk mengukur setiap besaran listrik tersebut?

Presentasikan hasil diskusi kalian di depan teman-teman lain.

Berdasarkan hasil diskusi pada *Eureka* tersebut, kalian telah mengenal beberapa besaran listrik, antara lain arus listrik, tegangan listrik, hambatan, daya listrik, dan energi listrik. Agar rasa penasaran kalian tidak semakin bertambah, marilah kita bahas satu persatu besaran listrik tersebut.

## 1. Arus Listrik

Arus listrik dianggap sebagai aliran muatan positif, walaupun sebenarnya muatan positif tidak dapat bergerak. Arus listrik bergerak dari potensial tinggi menuju potensial rendah, atau dari kutub positif (anoda) menuju kutub negatif (katoda). Besarnya arus listrik yang mengalir disebut **kuat arus listrik**. Kuat arus listrik dilambangkan dengan huruf  $I$ , dengan satuan ampere (A). Kuat arus listrik didefinisikan sebagai jumlah muatan ( $q$ ) yang mengalir dalam kawat penghantar (konduktor) pada selang waktu tertentu ( $t$ ).

Berdasarkan definisi di atas, kuat arus listrik dirumuskan:

$$I = \frac{q}{t}$$

**Keterangan:**

$I$  = kuat arus listrik (A)

$q$  = muatan yang mengalir (C)

$t$  = waktu (s)

Definisi arus tersebut adalah definisi menurut Hukum Coulomb. Menurut Hukum Coulomb, kuat arus listrik 1 ampere didefinisikan sebagai aliran muatan sebesar 1 coulomb tiap sekon. Pada uraian selanjutnya, kalian akan mengenal definisi kuat arus lainnya.

Muatan yang mengalir pada penghantar zat elektrolit adalah ion, baik bermuatan negatif maupun positif. Sedangkan muatan yang mengalir pada penghantar logam adalah elektron. Jumlah elektron yang mengalir adalah:

$$n = \frac{q}{q_e}$$

**Keterangan:**

$q$  = muatan yang mengalir (C)

$q_e$  = muatan elektron atau muatan elementer  
 $= 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$n$  = jumlah elektron yang mengalir

Jika kalian memerhatikan dengan teliti bagian dalam kabel listrik. Kalian akan menemukan bagian dalam kabel listrik yang berupa serabut (terdiri atas beberapa kawat kecil), kawat, atau bahkan lilitan kawat besar (digunakan pada tiang-tiang listrik). Pada prinsipnya, kuat arus hanya dipengaruhi oleh sumber arus. Jadi, bentuk penampang tidak memengaruhi kuat arus yang melewatinya. Hanya saja, bentuk penampang kabel akan memengaruhi rapat arus yang mengalir.

**Rapat arus didefinisikan sebagai kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar tiap satu satuan luas.**

Rapat arus dapat dituliskan dengan persamaan:

$$J = \frac{I}{A}$$

**Keterangan:**

$J$  = rapat arus (A/m<sup>2</sup>)

$I$  = kuat arus (A)

$A$  = luas penampang melintang penghantar (m<sup>2</sup>)

Saat semester 1 pada materi Besaran dan Satuan, kalian sudah mengenal besaran kuat arus. Alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus adalah **amperemeter** atau disingkat **ammeter**.

**Mozaiik**

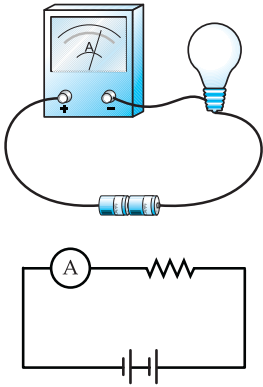
Belut listrik yang panjangnya melebihi 2 meter hidup di Amazon. Dua pertiga tubuh belut listrik mempunyai sekitar 5.000-6.000 titik listrik. Mereka dapat menghasilkan listrik sekitar 500 volt per 2 ampere.

Yahya, Harun, 2003, hlm. 80

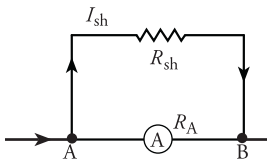


Chavis, Charles & Leong See, 2001, hlm. 241

**Gambar 8.1** Amperemeter digunakan untuk mengukur arus listrik.



Gambar 8.2 Untuk mengukur kuat arus, amperemeter disusun seri dalam rangkaian.



Gambar 8.3 Pemasangan hambatan cabang (shunt) pada amperemeter akan menaikkan batas ukur.

Amperemeter dipasang seri dengan rangkaian. Untuk mengukur kuat arus yang dihasilkan sumber arus, kutub positif amperemeter dihubungkan dengan kutub positif sumber arus. Sedangkan kutub negatif amperemeter dihubungkan dengan kutub negatif sumber arus. Coba kalian perhatikan cara memasang amperemeter pada Gambar 8.2.

Amperemeter ideal mempunyai hambatan dalam  $0 \Omega$ . Namun pada praktiknya, amperemeter mempunyai hambatan dalam yang menyebabkan kuat arus yang terukur menjadi lebih kecil dari kuat arus sebenarnya. Jadi, agar amperemeter dapat mengukur kuat arus yang sebenarnya, hambatan dalam amperemeter harus dibuat sekecil mungkin.

Amperemeter mempunyai batas ukur tertentu. Batas ukur (BU) ini membatasi kemampuan amperemeter dalam mengukur arus. Walaupun begitu, kita masih bisa mengukur kuat arus di atas batas ukur alat, dengan cara memasang hambatan shunt ( $R_{sh}$ ), seperti tampak pada Gambar 8.3.

Dengan pemasangan hambatan shunt, kemampuan mengukur arus dapat menjadi  $n$  kali kemampuan semula. Misalnya, arus maksimum yang terukur amperemeter semula  $I$  dan arus maksimum yang terukur setelah dipasang  $R_{shunt}$  adalah  $I_{sh}$ , maka besar kenaikan batas ukur dapat dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{I_{sh}}{I}$$

**Keterangan:**

$n$  = kelipatan batas ukur maksimum

$I_{sh}$  = arus maksimum yang terukur dengan tambahan  $R_{shunt}$

$I$  = arus maksimum pada amperemeter

Berdasarkan Gambar 8.3, kuat arus total ( $I_{tot}$ ) adalah penjumlahan dari  $I$  dan  $I_{sh}$ .

$$I_{tot} = I + I_{sh}$$

$$n I = I + I_{sh}$$

$$I_{sh} = (n - 1) I$$

Jika arus yang melewati amperemeter dan  $R_{shunt}$  dikalikan dengan hambatan yang bersesuaian, didapatkan persamaan:

$$I_{sh} R_{sh} = I R_A$$

$$(n - 1) I R_{sh} = I R_A$$

$$R_{sh} = \frac{R_A}{(n - 1)}$$

$R_{sh}$  pada persamaan tersebut menyatakan hambatan luar yang harus dipasang, agar amperemeter dapat mengukur kuat arus yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Arus listrik sebesar 0,03 A mengalir pada sebuah penghantar selama 15 sekon. Hitunglah besar muatan yang mengalir pada penghantar tersebut. Selanjutnya, jika arus dianggap sebagai aliran elektron, berapakah jumlah elektron yang mengalir?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$t = 15$  sekon,

$I = 0,03$  A

**Ditanyakan:**  $q$  dan  $n$

**Jawab:**

Untuk mencari muatan yang mengalir, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} q &= I \times t \\ &= 0,03 \times 15 \\ &= 0,45 \text{ C} \end{aligned}$$

Sedangkan jumlah elektron yang mengalir dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} n &= \frac{q}{q_e} \\ &= \frac{0,45}{1,6 \times 10^{-19}} \\ &= 2,82 \times 10^{19} \text{ elektron} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah muatan yang mengalir adalah 0,45 C, dan jumlah elektron yang mengalir  $2,82 \times 10^{19}$  elektron.

2. Sebuah galvanometer memiliki resistansi 15 ohm. Saat arus sebesar  $4 \times 10^{-4}$  A, galvanometer menunjukkan skala penuh. Agar amperemeter memberikan skala penuh ketika arusnya 5 A, berapakah nilai hambatan shunt?

**Penyelesaian:****Diketahui:**

$$\begin{aligned} I_A &= 4 \times 10^{-4} \text{ A} & R_A &= 15 \text{ ohm} \\ I &= 5 \text{ A} \end{aligned}$$

**Ditanyakan:**  $R_{sh}$ **Jawab:**

untuk mencari hambatan shunt, kita cari terlebih dahulu arus shunt.

$$\begin{aligned} I &= I_{sh} + I_A \\ I_{sh} &= I - I_A \\ &= 5 - (4 \times 10^{-4}) \\ &= 5 \text{ A} \quad (4 \times 10^{-4} \text{ dapat diabaikan}) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan  $I_{sh} \times R_{sh} = i_A \times R_A$ , kita mendapatkan,

$$\begin{aligned} R_{sh} &= \frac{I_A}{I_{sh}} \times R_A \\ &= \left( \frac{4 \times 10^{-4}}{5} \right) \times 15 \\ &= 1,2 \times 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

Jadi, hambatan shuntnya adalah  $1,2 \times 10^{-3} \Omega$ .

## 2. Beda Potensial

Dalam fisika, beda potensial disebut juga tegangan. **Beda potensial/tegangan** menunjukkan selisih potensial (*voltage*) antar ujung-ujung penghantar yang dialiri arus listrik. Satuan tegangan listrik adalah **volt** disimbolkan dengan *V*.

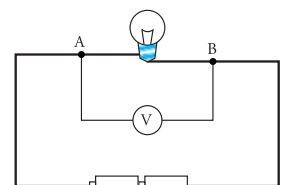
Jika suatu penghantar listrik dihubungkan dengan sumber tegangan (misalnya: baterai, *accu*, atau *power supply*), maka di antara kedua ujung penghantar terjadi beda tegangan atau beda potensial. Besarnya beda tegangan atau beda potensial tersebut dapat diukur dengan voltmeter. Gambar 8.4 menunjukkan sebuah voltmeter dan cara memasang voltmeter dalam rangkaian. Untuk mengukur tegangan voltmeter dipasang secara paralel pada rangkaian.

Sama seperti amperemeter, voltmeter juga mempunyai keterbatasan alat ukur. Batas ukur voltmeter dapat ditingkatkan dengan menambah hambatan yang dipasang seri dengan voltmeter. Hambatan ini disebut hambatan muka ( $R_m$ ). Perhatikan Gambar 8.5. Mengapa pemasangan hambatan muka dapat memperbesar batas ukur voltmeter?

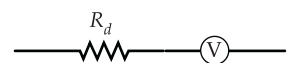
Pada pembahasan selanjutnya, kalian akan mengetahui bahwa hambatan yang dirangkai seri menghasilkan hambatan yang lebih besar. Dengan memasang hambatan muka secara seri, hambatan voltmeter akan lebih besar dari hambatan dalamnya. Dengan demikian, jika kuat arus



Chau, Charles & Long Sec, 2001, hlm. 247



**Gambar 8.4** Voltmeter dan skema pemasangan dalam rangkaian



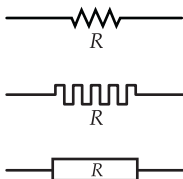
**Gambar 8.5** Hambatan muka akan memperbesar batas ukur voltmeter.



### Thomas Alfa Edison

(1847-1931) adalah seorang penemu terkenal di dunia yang berasal dari Amerika. Ia merupakan seorang penemu terbesar di dunia. Penemuannya hampir mencapai 3.000 buah. Salah satu penemuannya adalah bola lampu listrik. Ia menemukan bola lampu pada tahun 1879 dan dipasarkan pada tahun 1881. Filamen lampu Edison menggunakan karbon. Agar karbon tidak terbakar, udara dikeluarkan dari dalam lampu.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 49



Gambar 8.6 Berbagai simbol resistansi dalam rangkaian.

yang mengalir konstan, maka tegangan yang terukur akan lebih besar. Artinya, pemasangan hambatan muka akan memperbesar batas ukur voltmeter.

Untuk menentukan besar hambatan muka yang harus dipasang agar dapat mengukur tegangan  $V$  yang besarnya beberapa kali lipat dari tegangan maksimum, kita dapat menggunakan persamaan:

$$R_m = (n - 1)r_d \quad \text{Dengan, } n = \frac{V'}{V}$$

**Keterangan:**  $R_m$  = hambatan muka (ohm =  $\Omega$ )

$r_d$  = hambatan dalam voltmeter ( $\Omega$ )

$V'$  = tegangan yang ingin diukur (volt = V)

$V$  = tegangan maksimum yang terukur voltmeter (V)

### 3. Hambatan Listrik (Resistansi)

Di dalam bohlam terdapat filamen (semacam kawat tipis) yang menyala, jika dialiri arus listrik. Sementara itu, pada setrika listrik terdapat batang besi yang akan memanaskan jika dialiri arus listrik. Sedangkan pada kompor listrik terdapat kumparan (kawat yang digulung), yang juga akan memanaskan jika dialiri arus.

Filamen pada bohlam, besi pada setrika listrik, dan kumparan pada kompor listrik berfungsi sebagai hambatan listrik, atau disebut penghambat (**resistor**). Sebagai penghambat, ketiganya tentu mempunyai besar hambatan tertentu atau disebut **resistansi**. Resistansi atau hambatan disimbolkan dengan  $R$  dan mempunyai satuan **ohm** ( $\Omega$ ). Dalam rangkaian, resistansi digambarkan seperti Gambar 8.6.

Perhatikan sekali lagi filamen dari beberapa bola lampu dengan besar tegangan yang berbeda (misalnya, lampu 5 V, 20 V, dan 40 V). Jika teliti dalam mengamati, kalian akan menemukan bahwa filamen lampu dengan tegangan terkecil (5 V) lebih panjang daripada filamen lampu 20 V atau 40 V. Karena tegangan berbanding lurus dengan hambatan (akan kita bahas kemudian), maka semakin panjang filamen, berarti hambatannya semakin kecil. Selain dipengaruhi panjang filamen (dalam hal umum disebut penghantar), besarnya hambatan juga dipengaruhi oleh hambatan jenis penghantar dan luas penampang penghantar. Hubungan antara hambatan dengan faktor yang memengaruhinya dinyatakan dengan persamaan berikut.

**Keterangan:**  $R$  = hambatan ( $\Omega$ )

$\rho$  = hambatan jenis ( $\Omega/\text{m}$ )

$l$  = panjang kawat (m)

$A$  = luas penampang kawat ( $\text{m}^2$ )

**Hambatan jenis** diartikan sebagai besar hambatan dari sebuah penghantar dengan panjang 1 m dan luas 1  $\text{m}^2$ .

Setiap bahan penghantar mempunyai nilai hambatan jenis tertentu. Pada umumnya, hambatan jenis suatu bahan akan berubah jika suhunya naik. Sebagai contoh, hambatan filamen lampu pijar akan bertambah lebih dari 10 kali lipat, jika suhunya berubah dari  $20^\circ\text{C}$  ke suhu pijar  $1.800^\circ\text{C}$ .

Perubahan hambatan jenis akibat kenaikan suhu akan memengaruhi besar hambatan penghantar. Besar perubahan hambatan jenis dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta\rho = \rho_0 \alpha \Delta t$$

**Keterangan:**

$\Delta\rho$  = perubahan hambatan jenis

$\rho_0$  = hambatan jenis semula

$\alpha$  = koefisien suhu hambatan jenis ( $1/^\circ\text{C}$ )

$\Delta t$  = perubahan suhu penghantar

Besar hambatan berbanding lurus dengan hambatan jenis penghantar, sehingga besar hambatan juga akan berubah dengan persamaan berikut.

$$\Delta R = R_0 \alpha \Delta t$$

Dengan  $\Delta R = R_t - R_0$ , maka:

$$\begin{aligned} R_t &= R_0 + \Delta R \\ &= R_0 + R_0 \alpha \Delta t \end{aligned}$$

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

**Keterangan:**  $R_t$  = hambatan pada suhu  $t^\circ\text{C}$   
 $R_0$  = hambatan mula-mula

Untuk mengetahui penerapan persamaan tersebut dalam soal, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

1. Sebuah kabel terbuat dari kawat tembaga berdiameter 1 mm. Jika hambatan jenis kawat tembaga  $2,44 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ , berapa hambatan kawat sepanjang 50 m?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $\rho = 2,44 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

$$l = 50 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

**Ditanyakan:**  $R$

**Jawab:**

Untuk mencari hambatan pada kawat, gunakan persamaan  $R = \rho \frac{l}{A}$

$$\begin{aligned} \text{dengan } A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (1 \times 10^{-3})^2 \\ &= 7,85 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } R &= 2,44 \times 10^{-8} \times \left( \frac{50}{7,85 \times 10^{-7}} \right) \\ &= 3,11 \times 10^{-2} \Omega \end{aligned}$$

Jadi, hambatan kawat tersebut adalah  $3,11 \times 10^{-2} \Omega$ .

2. Filamen lampu pijar yang terbuat dari tungsten mempunyai hambatan  $120 \Omega$  pada saat lampu berpijar (suhu pijar  $1.800^\circ\text{C}$ ). Jika koefisien suhu hambatan jenis tungsten 0,0045, berapakah hambatan filamen tersebut ketika suhunya  $20^\circ\text{C}$ ?

**Diketahui:**  $R_t = 120 \Omega$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 1.800^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 1.800 - 20$$

$$= 1.780^\circ\text{C}$$

**Ditanyakan:**  $R_0$

**Jawab:**

Untuk mencari  $R_0$ , kita bisa menggunakan persamaan:

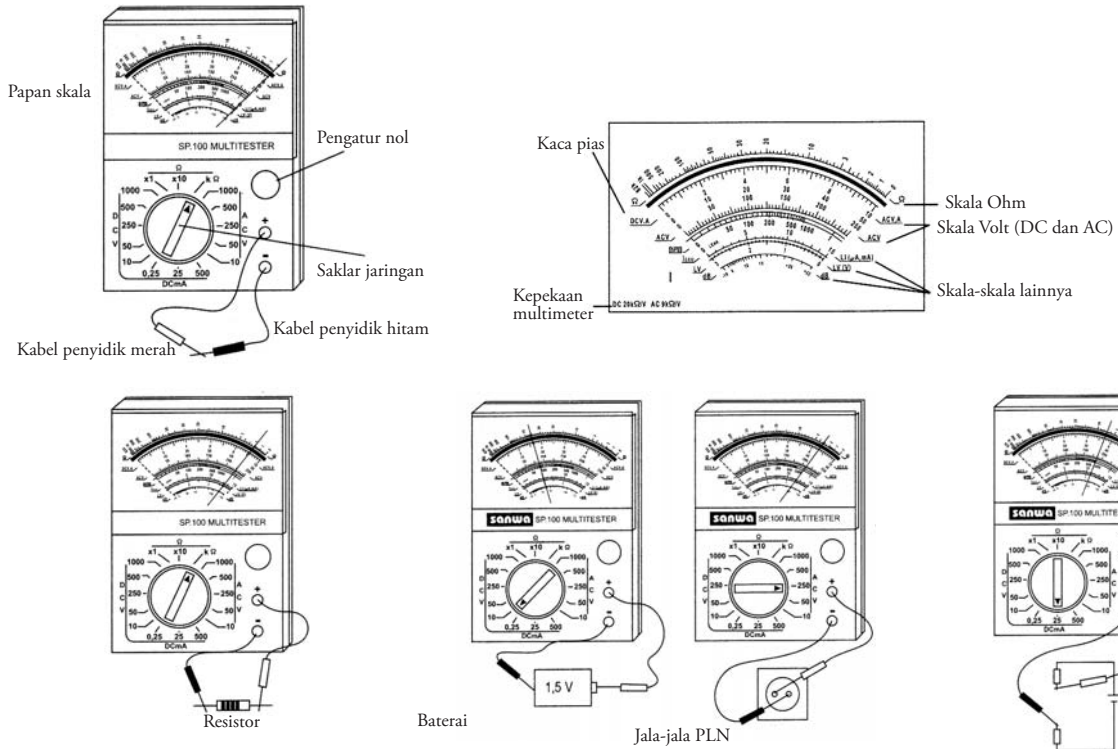
$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{R_t}{1 + \alpha \Delta t} \\ &= \frac{120}{1 + (0,0045 \times 1.780)} \\ &= 13,32 \Omega \end{aligned}$$

Jadi, hambatan tungsten pada suhu  $20^\circ\text{C}$  adalah  $13,32 \Omega$ .



Kita telah membicarakan hambatan secara panjang lebar. Lalu, alat apakah yang digunakan untuk mengukur hambatan/resistensi? Untuk mengukur hambatan listrik, alat yang digunakan adalah ohmmeter. Ohmmeter yang sederhana mengandung baterai yang dihubungkan seri dengan galvanometer dan sebuah resistor.

Amperemeter, voltmeter, dan ohmmeter merupakan alat listrik yang sudah kita kenal. Dalam keseharian, pembuatan ketiga alat tersebut biasanya menjadi satu, yang disebut **AVO meter** atau **multitester**. Perhatikan gambar multitester dan cara pengukuran kuat arus, tegangan, dan hambatan dengan menggunakan multitester berikut.



**Gambar 8.7** Bagian-bagian multitester dan cara penggunaan multitester untuk mengukur hambatan, kuat arus, dan tegangan.

Nah, dengan memerhatikan Gambar 8.7 dan mencari pelbagai referensi, diskusikan jawaban pertanyaan-pertanyaan pada *Eureka* di bawah ini.

## Eureka

Dengan mencari dari pelbagai referensi, diskusikan dengan teman sebangku kalian jawaban dari pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Sebutkan dan jelaskan bagian-bagian multitester.
2. Jelaskan dengan kata-katamu sendiri cara menggunakan multitester untuk mengukur kuat arus, hambatan, dan tegangan listrik.

3. Tegangan listrik ada dua macam yakni tegangan searah (tegangan DC) dan tegangan bolak-balik (tegangan AC). Demikian pula dengan kuat arus, ada arus DC dan arus AC. Samakah cara mengukur tegangan AC dan tegangan DC. Bagaimakah pula dengan cara mengukur kuat arus AC dan kuat arus DC? Jelaskan jawabanmu.

Konsultasikan hasilnya kepada guru kalian.

Untuk mengetahui tingkat penguasaan kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Muatan sebesar  $50 \mu\text{C}$  mengalir selama 7 sekon pada sebuah penghantar. Berapakah kuat arus yang mengalir? Berapa jumlah elektron yang melalui penghantar tersebut?
2. Sebuah amperemeter dihubungkan dengan hambatan shunt  $6 \times 10^{-4} \text{ ohm}$  sehingga menunjukkan skala penuh ketika arus yang mengalir 8 A. Jika amperemeter tanpa hambatan shunt memberikan skala penuh pada  $5 \times 10^{-4} \text{ A}$ . Berapakah besar hambatan dalam amperemeter?
3. Hitunglah hambatan kawat besi yang memiliki panjang 50 m dan diameter 0,8 mm jika hambatan jenis kawat  $9,7 \times 10^{-8} \text{ Ohm}$ .
4. Hambatan kawat tungsten yang digunakan pada bola lampu adalah  $100 \Omega$  pada suhu  $27^\circ \text{ C}$ . Setelah dinyalakan beberapa saat, suhu kawat menjadi  $87^\circ \text{ C}$ . Jika koefisien suhu hambatan jenis tungsten  $0,0045/^\circ\text{C}$ , tentukan hambatan tungsten pada suhu akhir tersebut.
5. Sebuah voltmeter mempunyai hambatan dalam  $10 \text{ k}\Omega$  dengan batas ukur 50 V. Jika seorang siswa ingin mengukur hambatan sebesar 400 V, berapakah besar hambatan muka yang harus dipasang?

## B. Hukum Ohm dan Rangkaian Resistor

Jika kalian menghubungkan satu buah baterai dengan bola lampu senter, bagaimanakah nyala lampunya? Bagaimanakah pula jika bola lampu dihubungkan dengan dua buah baterai? Ketika menggunakan dua buah baterai, ternyata lampu menyala lebih terang daripada menggunakan satu baterai. Menunjukkan apakah ini? Temukan jawabannya pada uraian berikut.

### 1. Hukum Ohm

Baterai merupakan sumber tegangan, sedangkan lampu mempunyai hambatan, dan menyala karena ada arus listrik. Jadi, peristiwa di atas membuktikan adanya hubungan antara kuat arus, tegangan, dan hambatan. Menurut **George Simon Ohm**, tegangan pada sebuah hambatan berbanding lurus dengan kuat arus untuk suhu konstan.



**George Simon Ohm**

(1787-1854) adalah seorang fisikawan Jerman. Setelah Volta menemukan arus listrik, Ohm mulai menyelidiki arus tersebut. Setelah melakukan beberapa percobaan, pada tahun 1827, ia menemukan bahwa arus listrik yang melalui penghantar berbanding lurus dengan hambatan. Pernyataan ini dikenal sebagai hukum Ohm.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm.121



Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum Ohm, dan dinyatakan dengan persamaan:

$$V = IR$$

**Keterangan:**  $V$  = tegangan (V)  
 $I$  = kuat arus (A)  
 $R$  = Hambatan (Ω)

Untuk membuktikan kebenaran hukum ohm, lakukan *Eksperimen* berikut.

## Eksperimen Membuktikan Hukum Ohm

### A. Dasar Teori

Pembicaraan listrik tidak bisa lepas dari tiga besaran dasar, yaitu kuat arus listrik, hambatan, dan tegangan. Ketiga besaran dasar ini saling memengaruhi satu sama lain. Menurut Hukum Ohm, yang dikemukakan oleh **George Simon Ohm**, kuat arus yang mengalir pada sebuah penghantar berbanding lurus dengan beda potensial di ujung-ujung penghantar dan berbanding terbalik dengan hambatan penghantar. Hukum Ohm dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$I = \frac{V}{R}$$

Atau,  $V = IR$

Berdasarkan persamaan tersebut, grafik hubungan antara tegangan ( $V$ ) dan kuat arus ( $I$ ) akan berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Kemiringan garis ini merupakan nilai hambatan (resistansi).

### B. Tujuan Percobaan

Setelah melakukan eksperimen ini, kalian diharapkan mampu:

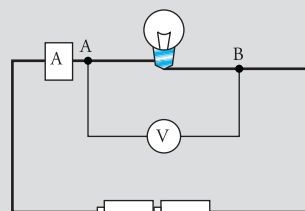
1. Membuktikan kebenaran hukum ohm.
2. Menggunakan multimeter secara benar untuk mengukur kuat arus, tegangan, dan hambatan.
3. Menggambarkan grafik hubungan kuat arus listrik dengan tegangan.
4. Menggambarkan grafik hubungan kuat arus listrik dengan hambatan.
5. Menggambarkan grafik hubungan tegangan dengan hambatan.
6. Mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi besar hambatan listrik suatu penghantar

### C. Alat dan Bahan

1. Baterai beberapa buah
2. Kabel penghubung
3. Lampu senter dengan voltase berbeda (4 buah)
4. Multimeter

### D. Langkah Kerja

1. Susunlah alat percobaan seperti gambar.
2. Ukurlah arus yang mengalir pada A-B dengan multimeter (pastikan multimeter sudah benar untuk mengukur arus).
3. Ukurlah hambatan dan tegangan pada A-B.
4. Ulangilah langkah 2 dan 3 dengan menambah baterai menjadi 2, 3, dan 4 buah.



- Ulangilah langkah 4 dengan mengganti lampu senter yang lain.
- Masukkan hasil pengukuran pada tabel di bawah ini.

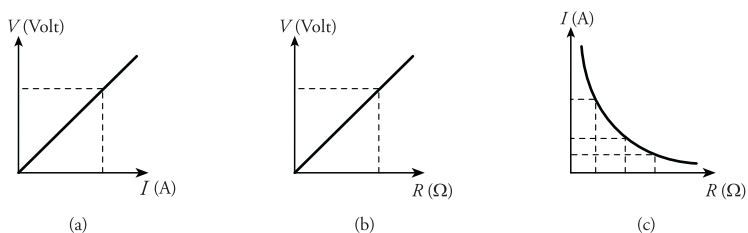
No	Jumlah baterai	Tegangan	Kuat Arus	Hambatan

#### E. Pembahasan

- Dari data yang diperoleh, buatlah grafik hubungan antara kuat arus dengan tegangan.
- Buatlah grafik hubungan antara kuat arus dengan hambatan.
- Buatlah grafik hubungan antara tegangan dengan hambatan.
- Apakah arti ketiga grafik yang kalian buat?
- Apakah kesimpulan kalian dari hasil eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen yang kalian lakukan dengan tatacara pembuatan laporan yang baik dan benar. Kemudian kumpulkan kepada guru kalian.

Bagaimanakah kesimpulan kalian dari hasil eksperimen di atas? Coba kalian cocokkan grafik-grafik yang kalian peroleh dengan grafik-grafik pada Gambar 8.8.



**Gambar 8.8** (a) Grafik hubungan  $V-I$ .  
(b) Grafik hubungan  $V-R$ .  
(c) Grafik hubungan  $I-R$ .

Coba perhatikan grafik hubungan tegangan dan kuat arus pada Gambar 8.8 Grafik tersebut berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Kemiringan grafik menunjukkan besar hambatan. Jadi, besar hambatan dapat dicari dengan persamaan:

$$R = \tan \alpha$$

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

Jika  $V_1$  dan  $I_1$  sama dengan nol, maka:

$$R = \frac{V}{I}$$

**Keterangan:**  $R$  = hambatan/resistansi (ohm)

$V$  = tegangan (V)

$I$  = kuat arus (A)



Gambar 8.9 Resistor

## 2. Rangkaian Resistor

Ketika mengamati rangkaian elektronika, misalnya radio atau televisi, kalian akan menemukan piranti kecil yang mempunyai dua kaki (elektroda). Pada piranti ini terdapat beberapa (biasanya 4) garis melingkar dengan warna berbeda. Piranti itulah yang disebut **resistor**. Perhatikan Gambar 8.9.

Pada rangkaian elektronik, seperti televisi atau radio, terdapat beberapa resistor yang terhubung satu sama lain. Secara garis besar, resistor pada rangkaian elektronik dapat dihubungkan dengan beberapa cara. Hubungan beberapa resistor ini disebut rangkaian hambatan/rangkaian resistor. Ada berapa macamkah rangkaian resistor?

### a. Rangkaian Seri

Pada rangkaian radio, televisi atau rangkaian elektronika yang lain, ada beberapa resistor yang dirangkai sedemikian rupa. Dua atau lebih resistor dapat dirangkai secara seri dengan cara menghubungkan kaki salah satu resistor (kaki negatif) dengan kaki resistor lainnya yang berbeda jenis (kaki positif). Perhatikan Gambar 8.10.

Apakah tujuan resistor dirangkai seri? Untuk merangkai peralatan elektronik terkadang membutuhkan resistor yang mempunyai hambatan besar. Namun resistor dengan nilai hambatan besar tidak mudah didapatkan. Salah satu cara agar memperoleh resistor dengan hambatan besar adalah dengan merangkainya secara seri. Bagaimanakah rangkaian seri dapat memperbesar hambatan?

Pada rangkaian seri, hambatan pengganti lebih besar dari hambatan tiap resistor. Karena arus yang mengalir pada kedua hambatan sama besar, maka tegangan pada setiap resistor tergantung pada besar hambatannya.

Berdasarkan keterangan tersebut, pada rangkaian resistor seri berlaku persamaan berikut.

$$\begin{aligned} I_{\text{tot}} &= I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I \\ V_{\text{tot}} &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \\ IR_{\text{tot}} &= IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n \end{aligned}$$

Sehingga, hambatan pengganti pada rangkaian seri adalah sebagai berikut.

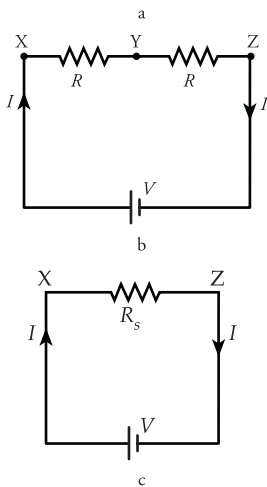
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Pada rangkaian seri, tegangan total yang dikeluarkan oleh sumber akan dibagi untuk setiap resistor. Inilah sebabnya rangkaian seri disebut juga **rangkaiannya pembagi tegangan**.

### b. Rangkaian Paralel

Untuk membuat rangkaian paralel resistor, kita tinggal menghubungkan kaki-kaki yang sejenis dari setiap resistor. Perhatikan gambar 8.11.

Pada rangkaian paralel, arus yang mengalir akan terbagi pada setiap hambatan. Dengan kata lain, besar arus yang melewati setiap



Gambar 8.10 (a) Rangkaian seri empat resistor, (b) Skema rangkaian seri dua resistor, (c) hambatan pengganti rangkaian seri



Gambar 8.11 Rangkaian paralel beberapa resistor dibuat dengan menghubungkan kaki-kaki sejenis.

hambatan berbeda. Yang perlu diingat pada rangkaian paralel, tegangan atau beda potensial di setiap resistor sama besar.

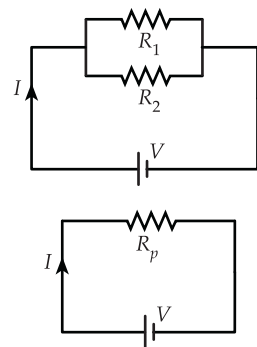
Berdasarkan keterangan tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa pada rangkaian paralel berlaku persamaan:

$$\begin{aligned} V_{\text{tot}} &= V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \\ I_p &= I_1 + I_2 + I_3 + \dots + i_n \\ \frac{V}{R_p} &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n} \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut, besarnya hambatan pengganti rangkaian paralel dapat dicari dengan rumus:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Untuk mengetahui penerapan persamaan rangkaian paralel resistor, perhatikan contoh di bawah ini.



Gambar 8.12 (a) Rangkaian paralel dua buah resistor, (b) Hambatan pengganti rangkaian paralel

## Contoh

Suatu rangkaian mempunyai hambatan  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$  dan  $R_4 = 6\Omega$ . Berapakah hambatan penggantinya jika:

- rangkaiannya disusun secara seri
- rangkaiannya disusun secara paralel

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$  dan  $R_4 = 6\Omega$

**Ditanyakan:**  $R_s$  dan  $R_p$

**Jawab:**

- hambatan untuk rangkaian seri  

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ &= 4 + 3 + 2 + 6 \\ &= 15\Omega \end{aligned}$$

- hambatan untuk rangkaian paralel

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{3 + 4 + 6 + 2}{12} = \frac{15}{12}$$

$$R_p = \frac{12}{15} = 0,8\Omega$$

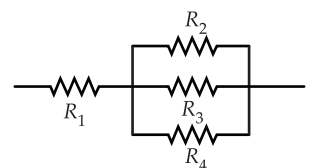
Jadi, hambatan pengganti jika dirangkai paralel adalah  $0,8\Omega$ .

## c. Rangkaian Gabungan

Perhatikan Gambar 8.13. Gambar tersebut merupakan rangkaian resistor gabungan yang terdiri dari rangkaian seri dan paralel. Untuk menghitung hambatan penggantinya tidak ada rumus yang baku. Kita dapat mencari hambatan penggantinya secara bertahap.

Pada rangkaian tersebut,  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  merupakan rangkaian paralel. Sehingga, hambatan pengganti untuk rangkaian  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  adalah  $R_p$  (dapat dicari dengan rumus hambatan pengganti paralel). Kemudian,  $R_1$  dan  $R_p$  merupakan rangkaian seri. Jadi, hambatan pengganti akhir  $R_s$  adalah gabungan antara  $R_1$  dan  $R_p$  ( $R_s = R_1 + R_p$ ). Mudah bukan?

Nah, untuk melatih keterampilan dalam menghitung hambatan pengganti pada rangkaian gabungan, perhatikan contoh berikut.



Gambar 8.13 Rangkaian gabungan seri dan paralel.

## Contoh

Perhatikan Gambar 8.16. Jika  $R_1 = 4 \text{ ohm}$ ,  $R_2 = 6 \text{ ohm}$  dan  $R_3 = 8 \text{ ohm}$ , dan  $R_4 = 2 \text{ ohm}$ , hitunglah hambatan pengganti rangkaian tersebut.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:** Berdasarkan gambar 8.16

$$R_1 = 4 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 6 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 8 \text{ ohm}$$

$$R_4 = 2 \text{ ohm}$$

**Ditanyakan:**  $R$  pengganti ( $R_{\text{tot}}$ )?

**Jawab:**

dari gambar tersebut,  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  terangkai paralel, sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \\ &= \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$= \frac{4+36+12}{24}$$

$$= \frac{19}{24}$$

$$R_p = \frac{24}{19}$$

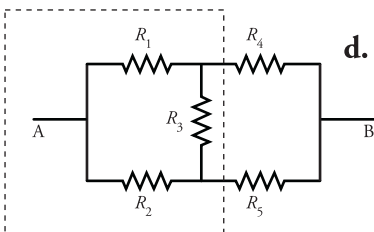
Sedangkan hambatan pengganti  $R_p$  seri dengan  $R_1$ , sehingga hambatan total dicari dengan persamaan:

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_p$$

$$= 4 + \frac{24}{19}$$

$$= 5\frac{5}{19} \Omega$$

Jadi, hambatan pengganti dari rangkaian tersebut adalah  $5\frac{5}{19} \text{ ohm}$ .



**Gambar 8.14** Hambatan pengganti pada rangkaian seperti di atas, dapat diselesaikan dengan transformasi delta-bintang.

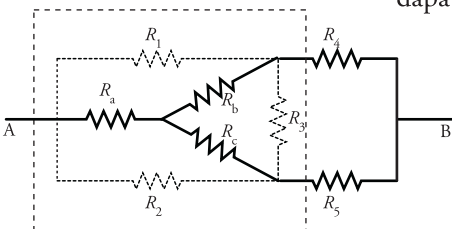
### d. Rangkaian Delta

Jika diketahui rangkaian hambatan seperti Gambar 8.14, bisakah kalian mencari hambatan penggantinya? Kalian akan menemukan kesulitan untuk memecah rangkaian tersebut menjadi rangkaian seri dan paralel. Lalu, bagaimanakah cara mencari hambatan penggantinya?

Bentuk rangkaian yang diberi kotak putus-putus pada gambar 8.14 disebut **rangkain delta**. Untuk mencari hambatan pengganti dari rangkaian delta, kita dapat menggunakan transformasi delta-bintang ( $\Delta$ -Y). Dengan menggunakan transformasi delta-bintang, rangkaian resistor pada Gambar 8.14 dapat diubah menjadi rangkaian seperti Gambar 8.15.

Dengan mengubah rangkaian delta ( $\Delta$ ) menjadi bentuk rangkaian bintang (Y), rangkaian akan tampak lebih sederhana. Perubahan rangkaian  $\Delta$  menjadi rangkaian Y inilah yang disebut transformasi  $\Delta$ -Y (transformasi delta-bintang).

Nilai  $R_a$ ,  $R_b$ , dan  $R_c$  adalah nilai transformasi delta-bintang yang dapat dicari dengan persamaan:



**Gambar 8.15** Skema transformasi delta-bintang.

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_b &= \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_c &= \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \end{aligned}$$

Jika,  $R_a$ ,  $R_b$ , dan  $R_c$  diketahui, kita bisa mencari  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$  dengan transformasi:

$$R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$

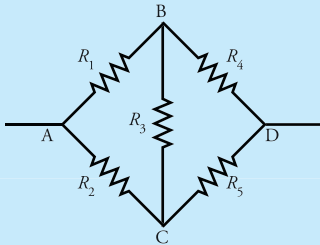
$$R_2 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

Untuk memperjelas uraian tersebut, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Perhatikan rangkaian berikut. Jika diketahui  $R_1 = R_5 = 2$  ohm,  $R_2 = 3$  ohm,  $R_3 = 4$  ohm dan  $R_4 = 6$  ohm. Tentukan besar hambatan pengganti.



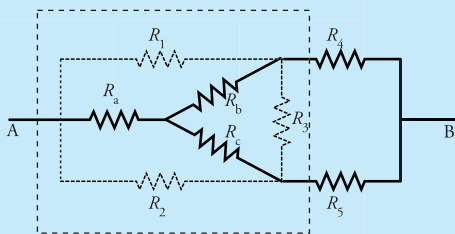
### Penyelesaian

**Diketahui:**  $R_1 = R_5 = 2$  ohm,  $R_3 = 4$  ohm  
 $R_2 = 3$  ohm,  $R_4 = 6$  ohm.

**Ditanyakan:**  $R_{\text{tot}}$

**Jawab:**

Rangkaian di atas dapat diuraikan menjadi rangkaian berikut.



Besar  $R_a$ ,  $R_b$ , dan  $R_c$  dapat dicari dengan transformasi delta-bintang.

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{2 \times 6}{2 + 3 + 4}$$

$$= \frac{12}{9}$$

$$R_b = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{4 \times 2}{2 + 3 + 4}$$

$$= \frac{8}{9}$$

$$R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{3 \times 4}{2 + 3 + 4}$$

$$= \frac{12}{9}$$

Sekarang, kita lihat  $R_b$  dan  $R_4$  adalah rangkaian seri dengan hambatan pengganti  $R_{S1}$ .

$$R_{S1} = R_b + R_4$$

$$R_{S1} = \frac{8}{9} + 6$$

$$= \frac{62}{9} \Omega$$

$R_c$  dan  $R_5$  merupakan rangkaian seri dengan hambatan pengganti  $R_{S2}$ .

$$R_{S2} = R_c + R_5$$

$$R_{S2} = \frac{12}{9} + 2$$

$$= \frac{30}{9} \Omega$$

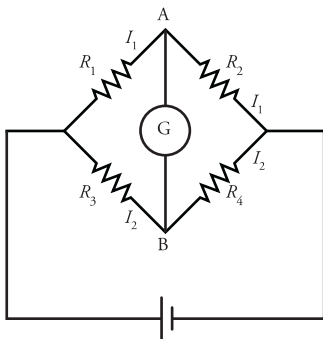
$R_{s1}$  dan  $R_{s2}$  adalah rangkaian paralel dengan hambatan pengganti  $R_p$ .

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} \\ &= \frac{9}{62} + \frac{9}{30} \\ &= \frac{270 + 558}{1.860} \\ R_p &= \frac{1.860}{828} \\ &= \frac{5}{4} \Omega\end{aligned}$$

Kemudian,  $R_a$  dan  $R_p$  adalah rangkaian seri dengan hambatan pengganti  $v_{tot}$ .

$$\begin{aligned}R_{tot} &= R_a + R_p \\ &= \frac{12}{19} + \frac{5}{4} \\ &= \frac{48 + 45}{36} \\ &= \frac{93}{36} \\ &= 2,58 \Omega\end{aligned}$$

Jadi, hambatan pengganti rangkaian adalah  $2,58 \Omega$ .



Gambar 8.16 Rangkaian jembatan Wheatstone.

### e. Jembatan Wheatstone

Ilmuwan yang pertama kali menerapkan metode yang sangat teliti untuk mengukur hambatan adalah **Charles Wheatstone** pada tahun 1843. Metode yang digunakannya kemudian dinamakan **jembatan Wheatstone**. Perhatikan Gambar 8.16.

Gambar tersebut adalah rangkaian jembatan Wheatstone. Rangkaian ini terdiri dari hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ , yang diketahui nilainya,  $R_4$  yang dapat diubah-ubah besarnya, serta  $R_3$  yang akan dicari hambatannya. Selain itu, juga terdapat galvanometer dan sebuah sumber tegangan.

Dalam metode ini,  $R_1$  dan  $R_2$  dibuat tetap, sedangkan  $R_4$  dapat diubah-ubah. Besar  $R_4$  dibuat sedemikian rupa sehingga galvanometer (G) menunjukkan angka nol. Pada kondisi ini, rangkaian dikatakan dalam keadaan seimbang.

Karena hambatan di G sama dengan nol, maka hambatan G tidak perlu diperhitungkan. Arus yang mengalir pada  $R_1$  (yaitu  $I_1$ ) sama dengan arus pada  $R_2$ . Begitu juga arus yang mengalir pada  $R_3$  (yaitu  $I_3$ ) sama dengan arus pada  $R_4$ . Hal ini disebabkan karena  $R_1$  dan  $R_2$  atau  $R_3$  dan  $R_4$  terangkai seri.

Jika gabungan  $R_1$ ,  $R_2$  disebut  $R_{s1}$  dan gabungan  $R_3$ ,  $R_4$  disebut  $R_{s2}$ , maka tegangan pada  $R_{s1}$  dan  $R_{s2}$  sama besar. Dengan kata lain, potensial di titik A dan titik B sama besar. Akibatnya, potensial pada  $R_1$  sama dengan potensial pada  $R_4$ , dan potensial pada  $R_2$  sama dengan potensial pada  $R_3$ . Secara sederhana, dapat dituliskan:

$$\begin{aligned}VR_1 &= VR_4 \\ I_1 R_1 &= I_2 R_4 \text{ dan} \\ I_1 R_2 &= I_2 R_3\end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut, kita mendapatkan bentuk persamaan,

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$

atau, dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$





**Charles Wheatstone**  
(1802-1875) adalah fisikawan Inggris. Belajar sains secara otodidak, pada 1834 ia diangkat sebagai profesor di Universitas London. Jembatan Wheatstone, meski ditemukan oleh sesama ilmuwan Inggris yakni Samuel Hunter Christie, menggunakan nama Wheatstone karena dialah yang pertama kali menerapkannya untuk mengukur hambatan resistor.

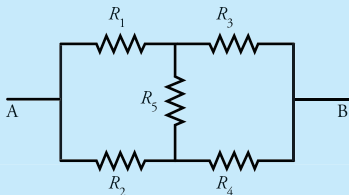
Microsoft Encarta Premium 2006

Persamaan ini disebut dengan persamaan jembatan Wheatstone. Berdasarkan persamaan ini, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa prinsip Wheatstone yaitu hasil kali dua hambatan yang saling berhadapan adalah sama.

Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Perhatikan gambar disamping.



Tentukan hambatan pengganti antara A dan B agar pada  $R_5$  tidak ada arus yang mengalir, jika  $R_1 = R_3 = 3 \text{ ohm}$ ,  $R_2 = R_4 = 4 \text{ ohm}$ .

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $R_1 = R_3 = 3 \text{ ohm}$ ,  
 $R_2 = R_4 = 4 \text{ ohm}$ .

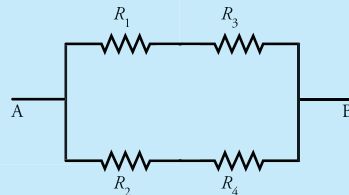
**Ditanyakan:**  $R$

**Jawab:**

Sesuai dengan prinsip Wheatstone, agar arus pada  $R_5$  sama dengan nol, maka:

$$R_1 R_2 = R_3 R_4$$

sehingga rangkaian dapat diubah menjadi



Jadi, hambatan totalnya dapat dicari dengan persamaan:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}}$$

dengan  $R_{s1} = R_1 + R_3 = 8$

$$R_{s2} = R_2 + R_4 = 8$$

sehingga,  $\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{2}{8}$

$$R_{\text{tot}} = 4 \Omega$$

Jadi, hambatan pengganti rangkaian tersebut adalah  $4 \Omega$ .

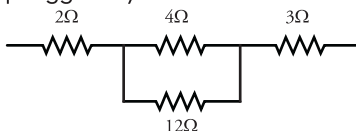
Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi di subbab ini, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Sebuah kawat memiliki panjang 100 m diameter 2 mm dan hambatan jenisnya  $3\pi \times 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ . Tentukan hambatan kawat tersebut.
2. Tentukan hambatan pengganti dari rangkaian resistor di bawah ini.

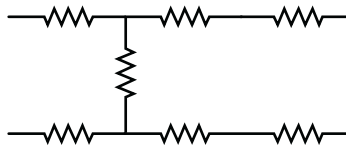


3. Perhatikan rangkaian di bawah ini. Berapakah besar hambatan penggantinya?



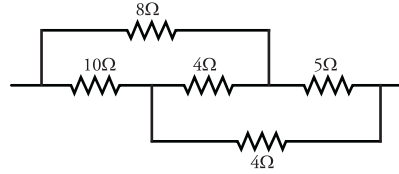
4. Tentukan hambatan pengganti dari ujung-ujung rangkaian, jika semua hambatan besarnya adalah 3 ohm.



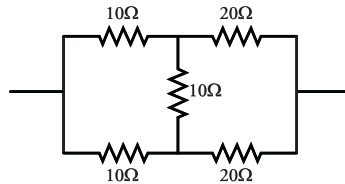


5. Tentukan hambatan pengganti dari rangkaian resistor di bawah ini dengan menggunakan prinsip jembatan wheatstone.

a.



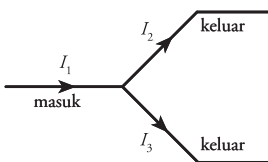
b.



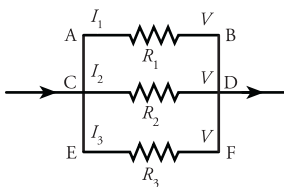
## C. Hukum Kirchoff dan Rangkaian Listrik

Berdasarkan keterangan pada subbab sebelumnya, kalian telah mengetahui bahwa rangkaian seri merupakan rangkaian pembagi tegangan. Sementara rangkaian paralel merupakan rangkaian pembagi arus. Faktor apakah yang memengaruhi pembagian arus pada rangkaian paralel?

Coba kalian perhatikan kembali contoh-contoh rangkaian paralel di depan. Pada rangkaian paralel, kita menemukan beberapa titik cabang. Kuat arus yang mengalir dari sumber tegangan akan tersebar ke seluruh cabang tanpa terkecuali. Hanya saja, besar arus pada setiap cabang tidak sama besar.



Gambar 8.17 Arus di percabangan.



Gambar 8.18 Arus yang mengalir pada setiap cabang besarnya tidak sama. Sementara tegangan pada setiap cabang sama besar.

### 1. Hukum Kirchoff I Tentang Arus di Percabangan

Ilmuwan yang menyelidiki besar arus yang melewati suatu percabangan adalah **Gustav Robert Kirchoff**. Perhatikan Gambar 8.17. Pada percabangan tersebut, besar  $I_1$  sama dengan besar  $I_2$  ditambah besar  $I_3$ . Ini merupakan contoh penerapan Hukum Kirchoff I yang menyatakan: “jumlah kuat arus listrik yang masuk ke suatu simpul (titik percabangan) sama dengan jumlah arus listrik yang keluar dari titik simpul tersebut”. Hukum Kirchoff I dapat dituliskan dalam bentuk persamaan

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

Lalu, bagaimanakah penerapan hukum Kirchoff? Perhatikan Gambar 8.18. Kalian telah mengetahui bahwa pada rangkaian paralel yang terdiri dari beberapa resistor, besar tegangan di setiap percabangan (simpul) sama besar. Atau dapat dituliskan:

$$V_{AB} = V_{CD} = V_{EF} = V$$

Dengan menerapkan Hukum Ohm, kita mendapatkan persamaan berikut.

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

atau,

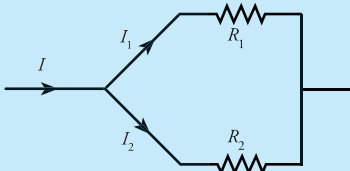
$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

Persamaan ini memberikan pengertian bahwa besarnya arus yang melewati percabangan tergantung dari besar hambatan yang terdapat pada percabangan tersebut. Semakin besar hambatan, semakin kecil arus yang mengalir. Sebaliknya, semakin kecil hambatan, semakin besar arus yang mengalir.

Untuk mengetahui penerapan konkretnya pada soal, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Perhatikan gambar rangkaian berikut.



Dari rangkaian tersebut diketahui  $I = 6 \text{ A}$ ,  $R_1 = 3 \Omega$ , dan  $R_2 = 2 \Omega$ . Tentukan besar  $I_1$  dan  $I_2$ .

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $I = 6 \text{ A}$

$$R_1 = 3 \Omega$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

**Ditanyakan:**  $I_1$  dan  $I_2$

**Jawab:**

Untuk mencari  $I_1$  dan  $I_2$  kita dapat menggunakan persamaan:

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}$$

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{3} : \frac{1}{2}$$

$$I_1 : I_2 = 2 : 3$$

Berdasarkan Hukum Kirchoff, kita mendapatkan persamaan:

$$I_1 + I_2 = I$$

$$I_1 + I_2 = 6$$

Sehingga:

$$I_1 = \frac{2}{5} \times 6 \quad \text{dan} \quad I_2 = \frac{3}{5} \times 6$$

$$= 2,4 \text{ A} \quad \quad \quad = 3,6 \text{ A}$$

Jadi, besar  $I_1$  adalah 2,4 A dan  $I_2$  adalah 3,6 A.

## 2. Gaya Gerak Listrik (GGL) dan Tegangan Jepit

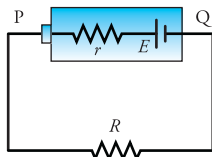
Beda potensial dari sebuah sumber tegangan dapat diketahui jika dihubungkan dengan hambatan, misalnya lampu, radio, atau alat elektronik yang lain. Apakah ini berarti, jika sumber tegangan tidak dihubungkan dengan hambatan, tidak mempunyai potensial? Walaupun arus tidak mengalir, sebuah sumber tegangan tetap memiliki beda potensial.

Ketika mempelajari alat ukur listrik, kalian telah mengetahui bahwa setiap alat ukur mempunyai hambatan dalam. Demikian pula sumber tegangan. Sumber tegangan, misalnya baterai, aki (*accu*), dan sumber



**Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887) adalah seorang fisikawan dari Jerman. Kirchhoff telah merumuskan hukum tentang jaringan (rangkain) dan penyinaran. Ia telah merumuskan dua hukum tentang rangkain listrik, yang dikenal dengan Hukum Kirchhoff I dan Hukum Kirchhoff II. Pada tahun 1860 Kirchhoff dan Bunsen menemukan unsure kimia cesium, dan tahun 1861 menemukan rubidium.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2006, hlm. 96



**Gambar 8.19** Hambatan dalam pada baterai ( $r$ ) tersusun seri dengan hambatan luar  $R$ .

tegangan lain, juga mempunyai hambatan dalam. Hambatan dalam ini menyebabkan adanya beda potensial di antara kutub-kutubnya, walaupun arus tidak mengalir.

Ketika arus tidak mengalir, beda potensial di antara kedua kutub (disebut juga polaritas) sumber tegangan disebut **gaya gerak listrik** (ggl). Namun, jika arus listrik mengalir, beda potensial pada polaritas sumber tegangan disebut **tegangan jepit** ( $V_{\text{jepit}}$ ). Lalu, bagaimanakah hubungan gaya gerak listrik dengan tegangan jepit?

Kita tahu bahwa di dalam sumber tegangan, misalnya baterai, terdapat hambatan dalam (disimbolkan dengan huruf  $r$ ). Jika arus mengalir, hambatan dalam ini akan menghambat arus. Akibatnya, tegangan yang seharusnya dihasilkan (ggl) berkurang sebesar  $IR$ . Tegangan akhir yang biasanya kita ukur inilah yang disebut tegangan jepit. Jadi, hubungan antara tegangan jepit dengan gaya gerak listrik diberikan dengan persamaan:

$$V_{\text{jepit}} = E - Ir$$

Jika tegangan jepit ini dihubungkan dengan sebuah hambatan luar  $R$ , seperti gambar 8.22, maka besar arus yang mengalir dalam rangkain adalah,

$$I = \frac{V_{\text{jepit}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{E}{R + r}$$

**Keterangan:**  $V_{\text{jepit}}$  = tegangan jepit (volt)  
 $E$  = gaya gerak listrik (volt)  
 $I$  = kuat arus (A)  
 $R$  = hambatan luar ( $\Omega$ )  
 $r$  = hambatan dalam sumber tegangan ( $\Omega$ )

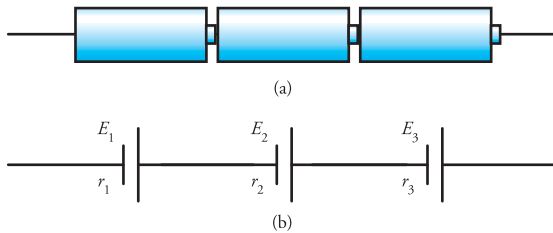
Walaupun ggl dan tegangan jepit merupakan dua hal berbeda, tetapi dalam pemakaiannya sering dianggap sama. Ini terjadi karena hambatan dalam pada sumber tegangan dianggap tidak ada.

### 3. Rangkain Sumber Tegangan

Coba perhatikan susunan baterai pada sebuah radio. Bagaimanakah susunan baterainya? Pada umumnya baterai radio disusun secara seri. Penyusunan seri ini bertujuan untuk memperbesar tegangan yang dihasilkan. Lalu, bagaimanakah jika baterai disusun paralel? Untuk mengetahui lebih lanjut, simaklah penjelasan berikut.

#### a. Rangkain Seri Sumber Tegangan

Sebuah baterai biasanya mempunyai ggl 1,5 volt. Jika sebuah radio membutuhkan tegangan 6 volt, biasanya menggunakan 4 buah baterai yang disusun secara seri. Ini menunjukkan bahwa beberapa sumber tegangan yang dirangkai seri akan meningkatkan besarnya ggl.



**Gambar 8.20** (a) Tiga buah baterai disusun seri. (b) Skema susunan seri tiga baterai.

Jika kita mempunyai  $n$  buah baterai yang dirangkai seri, maka besar ggl gabungannya adalah sebagai berikut.

$$E_{\text{seri}} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

Atau dapat dituliskan:

$$E_s = \sum_{i=1}^n E_i$$

Bagaimanakah dengan besar hambatan dalamnya? Karena hambatan dalam tersusun seri dengan ggl, maka hambatan dalam total dari gabungan seri sumber tegangan diberikan dengan persamaan berikut.

$$r_{\text{seri}} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

$$r_s = \sum_{i=1}^n r_i$$

Jika besar ggl dan  $r$  pada tiap baterai sama besar, maka

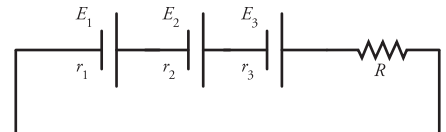
$$\begin{aligned} E_s &= nE \\ r_s &= nr \end{aligned}$$

Lalu, berapa besarkah arus yang mengalir jika rangkaian sumber tegangan tersebut dihubungkan dengan hambatan luar, seperti Gambar 8.21? Berdasarkan prinsip tegangan jepit, besar arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{\sum E}{(\sum r) + R}$$

Jika  $E = E_1 = E_2 = \dots = E_n$  dan  $r = r_1 = r_2 = \dots = r_n$ , maka besar arus yang mengalir pada rangkaian adalah:

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$



**Gambar 8.21** Rangkaian baterai dengan hambatan luar.

Hambatan luar pada persamaan ini dapat berupa 1 buah hambatan, maupun rangkaian beberapa hambatan. Jika hambatan luar terdiri dari beberapa hambatan yang dirangkai (baik secara seri maupun paralel),  $R$  yang digunakan adalah  $R$  pengganti ( $R_s$  atau  $R_p$ ). Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

- Empat buah baterai masing-masing memiliki ggl 1,5 V dengan hambatan dalam 0,25 ohm disusun seri. Kemudian, rangkaian baterai dihubungkan dengan hambatan luar ( $R$ ) sebesar 10 ohm. Berapakah arus yang melewati hambatan  $R$  tersebut?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = 1,5 \text{ V}$   
 $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 0,25 \text{ ohm}$   
 $R = 10 \text{ ohm}$

**Ditanyakan:**  $I$

**Jawab:**

Untuk mencari arus yang mengalir pada hambatan luar, gunakan persamaan berikut.

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$

$$= \frac{4 \times 1,5}{(4 \times 0,25) + 10}$$

$$= \frac{6}{11}$$

$$= 0,56 \text{ A}$$

Jadi, besar arus yang mengalir pada hambatan  $R$  adalah 0,56 A.

- Dua buah baterai masing-masing mempunyai ggl 1,5 disusun seri, dihubungkan dengan hambatan luar 4 ohm. Jika arus yang melewati hambatan  $R$  tersebut adalah 0,65 A, berapakah hambatan dalam setiap baterai?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $E_1 = E_2 = 1,5 \text{ V}$   
 $R = 4 \text{ ohm}$   
 $I = 0,65 \text{ A}$

**Ditanyakan:**  $r$

**Jawab:**

Untuk mencari  $r$ , gunakan persamaan:

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$

$$0,65 = \frac{2 \times 1,5}{2r + 4}$$

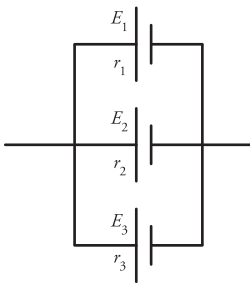
$$0,65 \times (2r + 4) = 3$$

$$2r + 4 = 4,61$$

$$2r = 0,61$$

$$r = 0,305 \text{ } \Omega$$

Jadi, hambatan dalam setiap baterai adalah 0,305 ohm.



Gambar 8.22 Skema rangkaian paralel tiga sumber tegangan.

### b. Rangkaian Paralel Sumber Tegangan

Jika kita mempunyai beberapa sumber tegangan, kita dapat merangkainya secara paralel. Ketika dirangkai secara paralel, ggl total hasil rangkaian besarnya tidak berubah. Sementara arus yang dihasilkan dari rangkaian paralel sumber tegangan akan menjadi lebih besar. Ini disebabkan karena ketika baterai dirangkai paralel, maka hambatan dalam dari setiap baterai juga terangkai paralel. Padahal kita tahu bahwa rangkaian paralel beberapa hambatan akan memperkecil hambatan. Akibat hambatan dalam yang lebih kecil, sementara tegangannya tetap, maka arus yang mengalir akan lebih besar.

Jadi, pada rangkaian paralel sumber tegangan berlaku persamaan-persamaan:

$$E_p = E_1 = E_2 = E_3 = \dots = E_n = E$$

$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

Biasanya, sumber tegangan yang disusun paralel adalah sumber tegangan yang sama. Artinya ggl dan  $r$  yang dimiliki tiap sumber, sama besar. Ini memberikan hambatan dalam total sebesar:

$$r_p = \frac{r}{n}$$

Jika rangkaian sumber tegangan ini dihubungkan dengan hambatan luar (lihat gambar 8.23), maka besar arus yang mengalir dinyatakan dengan persamaan:

$$I = \frac{E}{r_p + R}$$

Atau dapat dituliskan:

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$$

**Keterangan:**  $E$  = ggl 1 buah sumber tegangan (V)

$r$  = hambatan dalam ( $\Omega$ )

$R$  = hambatan luar ( $\Omega$ )

$n$  = jumlah sumber tegangan

Nah, mudah dan mengasyikkan bukan? Untuk menambah pengalaman kalian, perhatikan contoh berikut.

## Contoh

Tiga buah baterai disusun secara paralel. Masing-masing baterai memiliki GGL 1,5 dan hambatan dalam 0,27 ohm. Jika arus yang melewati rangkaian 0,2 A, tentukan hambatan luar yang dihubungkan dengan rangkaian?

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $E_1 = E_2 = E_3 = 1,5$  V

$r = 0,27$  ohm

$I = 0,2$  A

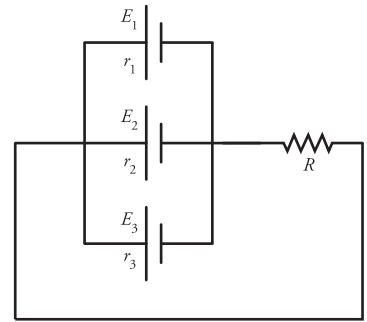
**Ditanyakan:**  $R$

**Jawab:**

Untuk mencari hambatan luar, kita bisa menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I &= \frac{E}{\frac{r}{n} + R} \\ 0,2 &= \frac{1,5}{\left(\frac{0,27}{3}\right) + R} \\ 0,2 &= \frac{1,5}{0,09 + R} \\ 0,09 + R &= \frac{1,5}{0,2} \\ R &= 7,5 - 0,09 \\ &= 7,41 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

Jadi, hambatan luar yang terpasang adalah 7,41 ohm.



**Gambar 8.23** Rangkaian paralel sumber tegangan dihubungkan dengan hambatan luar.

Jika kalian menghubungkan sebuah lampu senter hanya dengan salah satu kutub baterai, lampu tidak dapat menyala. Agar lampu menyala, kedua kutub baterai harus dihubungkan ke lampu senter. Rangkaian yang diawali di kutub positif baterai dan berakhir di kutub negatif disebut rangkaian tertutup atau loop.

Selain merumuskan hukumnya yang pertama, Kirchoff juga mengemukakan hukum lain tentang rangkaian tertutup. Bagaimanakah Hukum Kirchoff II menjelaskan rangkaian tertutup? Mari kita pelajari uraian selanjutnya.

#### 4. Hukum Kirchoff II

Dengan menerapkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff I, kalian dapat mencari besar arus dan tegangan pada rangkaian dengan satu sumber tegangan. Namun, bagaimanakah kita mencari arus dan tegangan jika pada rangkaian terdapat lebih dari satu sumber tegangan? Perhatikan Gambar 8.24.

Kita dapat mencari besar arus dan tegangan pada resistor dengan menggunakan prinsip **Hukum Kirchoff II** yang menyatakan:

“pada rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik ( $E$ ) dan dengan penurunan tegangan ( $iR$ ) sama dengan nol”.

Hukum Kirchoff II tersebut dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\sum E + \sum IR &= 0 \\ \sum E &= \sum IR\end{aligned}$$

**Keterangan:**  $E$  = gaya-gerak listrik (volt)

$I$  = kuat arus (A)

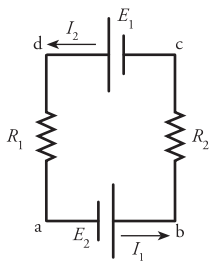
$R$  = hambatan (ohm)

Perhatikan kembali rangkaian pada Gambar 8.24. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian tertutup dengan **loop tunggal** (1 loop). Untuk menganalisis rangkaian tersebut, kita dapat menggunakan hukum Kirchoff II dengan mengikuti langkah berikut.

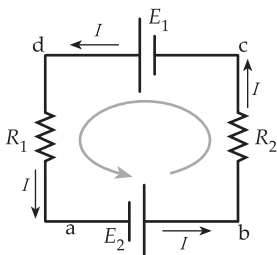
- Memilih arah loop. Agar lebih mudah, arah loop dapat ditentukan searah dengan arah arus yang berasal dari sumber tegangan yang paling besar dan mengabaikan arus dari sumber tegangan yang kecil (ingat, arah arus bermula dari kutub positif menuju kutub negatif).
- Setelah arah loop ditentukan, perhatikan arah arus pada percabangan. Jika arah arus sama dengan arah loop, penurunan tegangan ( $IR$ ) bertanda positif. Namun, jika arah arus berlawanan dengan arah loop,  $IR$  bertanda negatif.
- Jika arah loop menjumpai kutub positif pada sumber tegangan lain, maka nilai  $E$  positif. Namun, jika yang dijumpai lebih dulu adalah kutub negatif, maka  $E$  bertanda negatif.

Nah, dengan mengikuti langkah di atas, mari kita analisis bersama rangkaian tersebut. Pada rangkaian tersebut, jika  $E_2 > E_1$ , kita dapat menentukan arah loop seperti Gambar 8.25 (arah loop dari a–b–c–d–a.) Setelah menentukan arah loop, kita dapat menerapkan hukum Kirchoff II sebagai berikut.

$$\begin{aligned}IR_2 - E_1 + IR_1 - E_2 &= 0 \\ I(R_1 + R_2) &= E_1 + E_2\end{aligned}$$



**Gambar 8.24** Skema Rangkaian tertutup dengan dua sumber tegangan dan dua hambatan.



**Gambar 8.25** Penentuan arah arus pada loop.

Jadi, kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah:

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2}$$

Untuk menambah pengetahuan dan pemahaman kalian, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



## Ekspedisi

Berdasarkan keterangan pada materi di depan dan dengan mencari dari pelbagai sumber, kerjakan kegiatan berikut.

1. Rancanglah sebuah percobaan sederhana untuk membuktikan kebenaran Hukum Kirchoff I dan Hukum Kirchoff II.
2. Rancanglah sebuah percobaan untuk menyelidiki besar tegangan total dari

beberapa buah baterai yang dirangkai secara seri dan paralel.

Buatlah percobaan kalian di atas dengan menggunakan metode ilmiah yang benar. Buat juga laporan hasil percobaan kalian, dan kumpulkan kepada guru.

Untuk menambah pemahaman kalian, perhatikan contoh di bawah ini.

## Contoh

Perhatikan skema rangkaian pada gambar. Jika diketahui  $E_1 = 5 \text{ V}$ ,  $E_2 = 9 \text{ V}$ ,  $R_1 = 4 \text{ ohm}$ , dan  $R_2 = 7 \text{ ohm}$ , berapakah kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut? (gunakan arah loop dari a–b–c–d–a)

**Penyelesaian:**

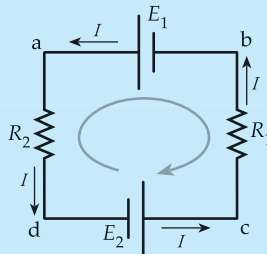
**Diketahui:**  $E_1 = 5 \text{ V}$

$E_2 = 9 \text{ V}$

$R_1 = 4 \text{ ohm}$

$R_2 = 7 \text{ ohm}$

**Ditanyakan:**  $I$



**Jawab:**

Dengan menerapkan Hukum kirchoff II, kita mendapatkan persamaan

$$E_1 - IR_1 + E_2 - IR_2 = 0$$

$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2$$

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{5 + 9}{4 + 7}$$

$$= 1,3 \text{ A}$$

Jadi, kuat arus yang mengalir adalah 1,3 A.

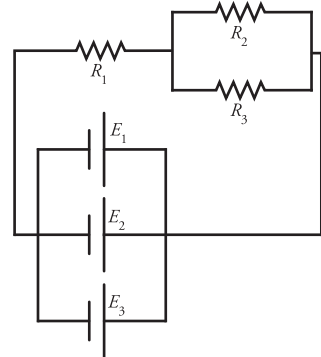
Kita telah membahas Hukum Kirchoff dan rangkaian listrik. Untuk mengetahui tingkat penguasaan yang telah kalian capai, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Dua buah sumber tegangan dipasang secara seri. Besar  $ggl$  masing-masing sumber tegangan adalah 1,2 V dan 5 V dan hambatan dalamnya berturut-turut 0,25 ohm dan 0,75 Ohm. Jika arus yang mengalir pada hambatan luar adalah 12 A, tentukan besar hambatan luarnya?



2. Tiga buah sumber tegangan disusun secara seri. ggl dengan masing-masing 1,2 V dan hambatan dalamnya 0,35 ohm. Jika baterai dihubungkan dengan hambatan luar 2 ohm, berapa arus yang melewati hambatan tersebut?
3. Empat buah sumber tegangan dengan besar ggl masing –masing 4V, 5V, 2V, dan 1V dirangkai secara paralel. Tentukan besar ggl penggantinya?
4. Perhatikan rangkaian pada gambar di samping. Jika diketahui  $E_1 = E_2 = 8\text{ V}$ ,  $E_3 = 4\text{ V}$ ,  $R_1 = 3\text{ ohm}$ ,  $R_2 = 5\text{ ohm}$ , dan  $R_3 = 8\text{ ohm}$ . Hitunglah kuat arus yang melewati setiap hambatan pada rangkaian tersebut?



## D. Sumber Tegangan

Ketika di SMP, kalian telah mempelajari macam-macam sumber tegangan. Sumber tegangan ada dua, yaitu sumber tegangan searah dan sumber tegangan bolak-balik. Sumber tegangan searah disebut juga sumber tegangan DC (*direct current*) dan sumber tegangan bolak-balik disebut sumber tegangan AC (*alternating current*).

### 1. Perbedaan Sumber Tegangan Searah (DC) dan Sumber Tegangan Bolak-Balik (AC)

Sebelumnya kita telah mempelajari rangkaian listrik, baik listrik AC maupun listrik DC, dan beberapa rangkaian sederhana yang terdiri dari baterai dan hambatan (resistor). Ketika sebuah baterai dihubungkan pada rangkaian, arus akan mengalir tetap pada suatu arah. Arus seperti ini disebut dengan arus searah (*direct current* = DC). Sedangkan arus yang terus berubah arah terus beberapa kali dalam setiap detiknya disebut **arus bolak-balik** (*alternating current* = AC). Contoh sumber arus searah adalah baterai, dan sumber arus bolak-balik adalah listrik PLN.

Bagaimanakah cara mengetahui perbedaan arus AC dengan arus DC? Cara yang paling mudah untuk menyelidiki perbedaan arus AC dan arus DC adalah dengan menggunakan osiloskop atau disebut juga CRO (*Cathode Ray Oscilloscope*). Osiloskop adalah alat yang digunakan untuk menyelidiki sinyal listrik. Alat ini dapat digunakan untuk menentukan frekuensi, amplitudo, dan tegangan sinyal listrik dengan menghitung skala yang terlihat pada layar. Gambar osiloskop dapat kalian lihat pada Gambar 8.26.



Gambar 8.26 Osiloskop

Ketika sebuah sumber tegangan dihubungkan dengan osiloskop, pada layar osiloskop akan tampak grafik tegangan terhadap waktu. Jika yang dihubungkan merupakan sumber tegangan searah, grafik yang muncul pada layar berupa garis lurus, seperti tampak pada gambar 8.27(a). Namun, jika yang dihubungkan merupakan sumber tegangan bolak-balik (AC), grafik yang muncul berbentuk sinusoida, seperti tampak pada Gambar 8.27(b).

Gambar 8.27(a) memberikan arti bahwa nilai tegangan DC tidak tergantung waktu. Artinya, tegangan DC selalu tetap setiap saat. Sementara pada gambar 8.27(b), nilai tegangan AC berbentuk sinusoida. Artinya, nilai tegangan AC berubah-ubah setiap waktu. Dengan membaca jarak grafik dari titik nol, kemudian membandingkan dengan skala yang digunakan, kita dapat mengetahui nilai tegangan yang diberikan.

Dari grafik tegangan AC (Gambar 3.27 b), nilai puncak atas grafik menyatakan tegangan maksimum ( $V_{\text{maks}}$ ). Nilai tegangan ini bukanlah nilai tegangan yang terukur oleh voltmeter. Tegangan yang terukur oleh voltmeter disebut **tegangan efektif** =  $V_{\text{ef}}$ . Lalu, hubungan tegangan maksimum ( $V_{\text{maks}}$ ) dengan tegangan efektif ( $V_{\text{ef}}$ ) diberikan dengan persamaan:

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{maks}}}{\sqrt{2}}$$

**Keterangan:**  $V_{\text{ef}}$  = tegangan efektif yang terukur pada voltmeter.  
 $V_{\text{maks}}$  = tegangan maksimum yang terukur pada osiloskop.

Selain untuk mengetahui jenis tegangan listrik, osiloskop juga dapat digunakan untuk menyelidiki arus listrik. Bentuk grafik pada arus listrik DC sama dengan grafik pada tegangan DC. Begitu juga grafik arus AC sama dengan grafik tegangan AC. Sama dengan tegangan, pada arus listrik juga berlaku persamaan:

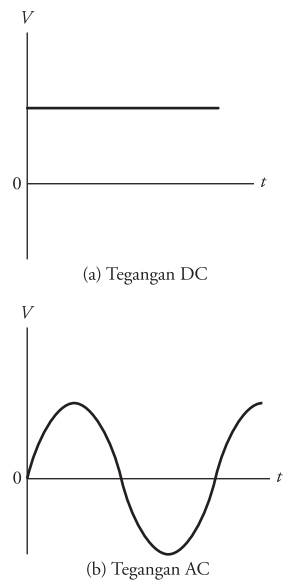
$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{maks}}}{\sqrt{2}}$$

**Keterangan:**  $I_{\text{ef}}$  = arus yang terukur pada ammeter  
 $I_{\text{maks}}$  = arus yang terukur pada osiloskop

Berdasarkan keterangan tersebut, kita dapat menemukan beberapa perbedaan tegangan AC dan tegangan DC sebagai berikut.

1. Tegangan AC mudah dinaikkan atau diturunkan daripada DC.
2. Listrik AC lebih mudah ditransmisikan dari pembangkit ke pelanggan dari pada listrik DC.
3. Pembangkit listrik DC lebih murah dan sederhana.
4. Tegangan dan arus AC mempunyai nilai maksimum dan minimum sesuai dengan grafiknya yang berbentuk sinusoidal, sedangkan untuk listrik DC tidak terdapat nilai-nilai tersebut.

Nah, berdasarkan penjelasan tersebut, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



**Gambar 8.27** Grafik tegangan ( $V$ ) terhadap waktu pada layar osiloskop. (a) Untuk sumber tegangan searah (DC). (b) Untuk sumber tegangan bolak-balik (AC).

## Teropong

Pembahasan lebih lanjut mengenai tegangan maksimum dan tegangan efektif akan kalian dapatkan di kelas XII, pada bab Induksi Elektromagnetik dan Arus Searah.

Identifikasikan beberapa peralatan di rumah kalian yang memanfaatkan sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC). Dengan mencari dari pelbagai sumber, jelaskan prinsip kerja peralatan tersebut dalam memanfaatkan

sumber arus. Carilah informasi dari pihak yang berwenang tentang cara pemasangan listrik di rumah kalian.

Tuliskan hasil pekerjaan kalian dalam bentuk paper untuk dikumpulkan kepada guru.

## 2. Sumber Tegangan Searah dan Pemakaiannya

Secara umum, terdapat dua macam sumber tegangan searah, yaitu elemen sekunder dan elemen primer. Elemen sekunder merupakan tegangan yang dapat diperbarui. Sedangkan elemen primer adalah elemen yang tidak dapat diperbarui. Contoh dari elemen sekunder antara lain aki, baterai *handycam*, dan baterai Hp. Sedangkan contoh elemen primer adalah batu baterai, elemen *Danniel*, elemen *Volta*, dan elemen *Leclanche*.

Namun, yang akan kita bahas hanyalah baterai dan aki. Sementara untuk sumber tegangan lainnya kalian bisa mencari sendiri dari pelbagai buku atau dari internet.

### a. Baterai

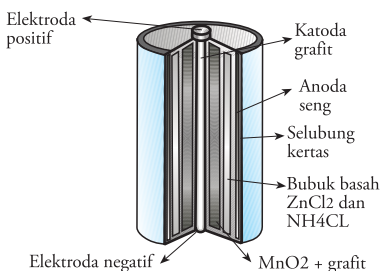
Penemuan baterai diawali oleh penemuan **Galvani** yang menyelidiki listrik pada otot katak. Ketika galvani menyentuhkan dua logam pada tubuh katak, ia melihat katak mengalami kejutan. Galvani percaya bahwa sumber otot katak atau saraf merupakan sumber muatan listrik. Sementara, logam atau kabel adalah alat yang mentransmisikan muatan-muatan ke titik yang sesuai.

Selain penemuan Galvani, **Volta** juga mengemukakan bahwa konduktor yang lembab, seperti embun dan otot katak pada titik temu dua logam yang berbeda, merupakan hal penting agar rangkaian efektif.

Dari penelitian Volta, ditemukan kombinasi-kombinasi logam yang menghasilkan efek yang lebih besar dari pada yang lainnya. Inilah awal penemuan baterai. Baterai menghasilkan listrik dengan mengubah zat kimia menjadi energi listrik. Baterai yang paling sederhana adalah baterai yang terdiri atas dua buah keping logam yang berbeda yang disebut dengan **elektroda**. Elektroda-elektroda tersebut dimasukkan dalam larutan asam cair yang disebut dengan **elektrolit**. Alat ini disebut juga sebagai **sel listrik**.

Baterai atau elemen kering terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut.

- 1) Batang karbon yang berfungsi sebagai elektroda positif (anoda).
- 2) Bejana seng (pebungkus baterai) berfungsi sebagai elektroda negatif (katoda).
- 3) Amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) pasta sebagai larutan elektrolit.
- 4) Campuran batu kawi ( $\text{MnO}_2$ ) dan serbuk karbon (C) sebagai depolarisator.



**Gambar 8.28** Baterai dan bagian-bagiannya.

## Mozaiik

Pada tahun 1790-an, Alessandro Volta menyadari bahwa listrik dapat dibuat dengan mencampurkan zat kimia yang tepat. Dengan membuat lapisan-lapisan dari tembaga dan seng yang berselang-seling serta meletakkannya pada stoples berisi air garam. Ini adalah bentuk baterai yang pertama.

Woodford, Chris, 2006, hlm. 13

Bagaimanakah prinsip kerja baterai? Selama baterai bekerja, seng berubah menjadi seng klorida diikuti pembebasan gas hidrogen dan terjadi pengeringan amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Baterai yang biasa kita jumpai memiliki tegangan sekitar 1,5 V. Baterai dikatakan habis jika depolarisator  $\text{MnO}_2$  jenuh dan semua amonium terurai menjadi  $\text{NH}_3$ . Ketika baterai sudah habis, baterai sudah tidak dapat digunakan lagi, kecuali pada baterai *charger* yang dapat diisi ulang.

## b. Aki (Accu)

Aki merupakan contoh elemen sekunder. Elemen-elemen pereaksi pada aki dapat diperbarui dengan mengalirkan arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arus yang dihasilkan oleh elemen tersebut. Elemen sekunder ini disebut akkumulator.

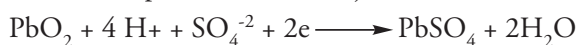
Berdasarkan zat pereaksi yang digunakan, aki dapat dibedakan menjadi aki timbal asam sulfat dan aki nikel kadmium.

### 1) Aki timbal asam sulfat

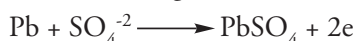
Aki timbal asam sulfat tersusun atas timbal peroksida ( $\text{PbO}_2$ ) yang berfungsi sebagai anoda, timbal murni ( $\text{Pb}$ ) berfungsi sebagai katoda, dan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) yang berfungsi sebagai elektrolit.

Ketika aki sedang mengalirkan arus listrik, kedua elektrodanya berubah menjadi timbal sulfat  $\text{PbSO}_4$ . Perubahan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan reaksi.

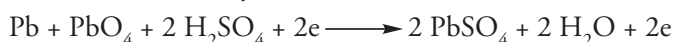
Pada kutub positif (anoda) terjadi reaksi:



Pada kutub negatif (katoda) terjadi reaksi:

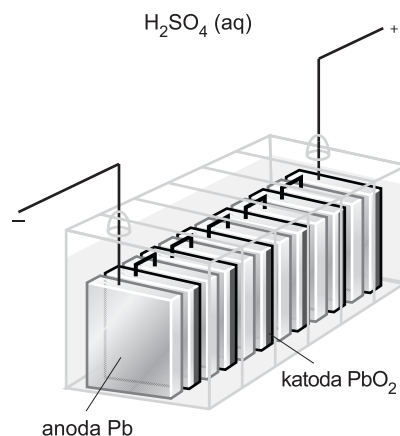
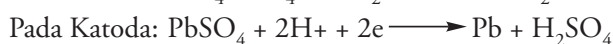
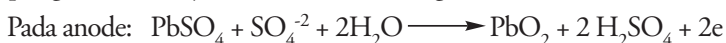


Reaksi keseluruhannya adalah:



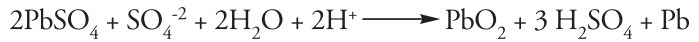
Setelah terjadi reaksi, kedua elektroda menjadi sama yaitu  $\text{PbSO}_4$ . Ini menyebabkan tidak ada beda potensial di antara kedua elektroda, sehingga aki tidak dapat mengalirkan arus listrik (kosong). Aki yang kosong ditandai dengan encernya larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Agar aki dapat mengalirkan arus lagi maka perlu disetrum atau dimuati kembali.

Pemberian muatan pada aki dilakukan dengan mengalirkan arus listrik searah dari sumber tegangan lain. Pemuatan ini berlawanan arah ketika aki mengalirkan arus. Pada proses pengisian aki terjadi reaksi kimia sebagai berikut.



Gambar 8.29 Aki dan bagian-bagiannya.

Reaksi keseluruhannya:



Sumber tegangan yang digunakan untuk mengisi aki harus mempunyai ggl yang lebih besar daripada ggl aki. Semakin besar perbedaan ggl sumber tegangan semakin besar pula arus yang dihasilkan aki.

## 2) Aki nikel kadmium

Berbeda dengan aki timbal asam sulfat, aki nikel kadmium menggunakan kalium hidroksida sebagai elektrolitnya. Nikel sebagai elektroda positif, dan campuran logam kadmium sebagai elektroda negatif.

Aki jenis ini banyak digunakan sebagai baterai kalkulator. Reaksi kimia yang terjadi saat pemakaian dan pengisian aki nikel kadmium adalah:



## 3. Sumber Tegangan Bolak-Balik dan Pemakaiannya

### a. Dinamo

Dinamo banyak digunakan pada sepeda sebagai sumber penerangan. Dinamo merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan arus listrik dari energi mekanik. Dengan kata lain, dinamo mengubah energi gerak (energi mekanik) menjadi energi listrik.

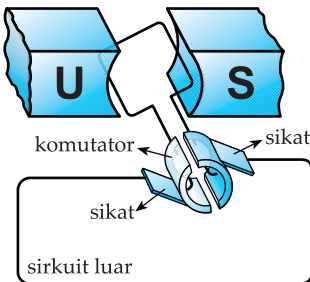
Prinsip kerja dinamo adalah imbas elektromagnetik. Di dalam dinamo, kumparan berada dalam ruangan yang mengandung medan magnet homogen. Jika kumparan berputar, fluks magnet yang menembus kumparan akan berubah-ubah setiap waktu. Menurut Faraday, hal ini mengakibatkan timbulnya arus listrik yang disebut dengan imbas (arus induksi) yang berupa arus bolak-balik. Jika dilihat menggunakan osiloskop, maka grafiknya berbentuk grafik sinusoidal.

Dinamo yang menghasilkan arus searah mempunyai prinsip yang sama dengan generator. Dinamo menggunakan cincin belah (komutator) yang berfungsi sebagai penyearah. Ketika kumparan berputar, arus imbas muncul dengan arah yang selalu tetap setiap selang putaran  $180^\circ$ .

### b. Generator

Generator merupakan alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sebuah generator mempunyai beberapa kumparan yang dililitkan pada inti besi yang bergerak memutar dalam medan magnet. Sumber diputar secara mekanis dan ggl induksi kumparan berputar. Akibatnya, muncul arus listrik yang merupakan keluaran dari generator.

Lebih dari 90% tenaga listrik yang digunakan di dunia dihasilkan oleh generator. Pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA), inti besi



Gambar 8.30 Dinamo dan bagian-bagiannya.

## Teropong

Materi mengenai dinamo, generator, dan transformator akan dipelajari pada bab sendiri di kelas XII. Pada bab ini hanya dikenalkan sedikit tentang ketiga alat tersebut.

dipasang pada poros besar yang dihubungkan dengan turbin. Ketika arus air yang deras mengenai turbin, inti besi akan bergerak sehingga menghasilkan arus. Pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), uap air dengan tekanan tinggi digunakan untuk memutar turbin.

### c. Transmisi PLN

Dalam transmisi listrik, transformator berperan sangat penting. Daya listrik yang dihasilkan pembangkit tenaga listrik harus ditransmisikan melalui jarak yang jauh. Pada jalur transmisi ini terdapat kerugian-kerugian daya. Kerugian ini dapat ditekan jika daya listrik ditransmisikan pada tegangan tinggi menggunakan transformator.

Semakin besar tegangan yang digunakan, arus akan semakin kecil, sehingga semakin sedikit daya yang terbuang di jalur transmisi. Itulah sebabnya, daya listrik ditransmisikan dengan tegangan tinggi, sekitar 70 kV. Daya biasanya dibangkitkan pada tegangan yang lebih rendah dari tegangan transmisi ini. Tegangan di rumah atau di pabrik juga jauh lebih rendah dari tegangan transmisi.

Alasan utama penggunaan tegangan bolak-balik untuk menransmisikan daya listrik adalah karena dapat dengan mudah dinaikkan atau diturunkan. Tegangan keluaran dari pembangkit tenaga listrik akan dinaikkan untuk keperluan transmisi. Sesampainya di kota, tegangan diturunkan kembali untuk keperluan distribusi. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan disebut **transformator** atau lebih dikenal dengan istilah **trafo**.

Di rumah yang memasang listrik, selain dilengkapi dengan kWh-meter dan pembatas daya, juga dilengkapi dengan sekring. Sekring dipasang untuk keamanan instalasi agar tidak terjadi hubungan pendek (*korsleting*). Tiap sekring mempunyai nilai yang telah ditentukan, misalnya 3 A, 5 A, 13 A, 15 A, dan seterusnya. Sekring dipasang secara seri dengan peralatan listrik. Ketika terjadi kelebihan arus pada alat listrik, sekring akan putus dan kerusakan alat dapat dihindari. Misalnya sebuah alat listrik 110 W, 220 V memerlukan kuat arus  $220 : 110 = 2\text{A}$ . Maka nilai sekring yang dipilih harus sedikit lebih besar, misalnya 3A.



Gambar 8.31 Bagan Transmisi tenaga listrik dari pembangkit menuju perumahan.



Gambar 8.32 Transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik.

## E. Energi dan Daya Listrik

Ketika kita menggunakan setrika listrik, energi listrik diubah menjadi energi panas. Ketika menggunakan kipas angin, energi listrik diubah menjadi energi gerak. Begitu pula pemakaian alat-alat lainnya, yang pada prinsipnya mengubah energi listrik menjadi bentuk energi lain. Pertanyaannya sekarang adalah berapa besar energi listrik yang kita gunakan, setiap jam, setiap hari, atau setiap bulannya?



Di subbab awal bab ini, kalian telah mengetahui bahwa arus listrik dapat mengalir jika ada beda potensial. Sementara, arus listrik sendiri merupakan muatan yang bergerak. Jika sebuah muatan  $q$  bergerak pada beda potensial  $V$ , maka muatan tersebut memerlukan energi sebesar.

$$W = qV$$

Dengan mensubstitusikan nilai  $q = It$  dan  $V = IR$ , maka kita mendapatkan persamaan:

$$W = V I t$$

$$W = I^2 R^2 t$$

$$W = \frac{V^2}{R} t$$

**Keterangan:**  $W$  = energi (joule = J)

$q$  = muatan (C)

$V$  = beda potensial (V)

$t$  = waktu (s)

Sementara itu, **daya listrik** didefinisikan sebagai energi listrik per satuan waktu. Daya listrik dapat dicari dengan rumus:

$$P = \frac{W}{t}$$

**Keterangan:**  $P$  = daya listrik (watt = W)

Dari persamaan tersebut, dengan mensubstitusikan nilai  $W$  didapatkan persamaan:

$$P = VI$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Dengan melihat satuan daya listrik, coba kalian jelaskan arti lampu 5 watt (5 W), 10 watt (10 W), atau 50 watt (50 W). Angka-angka tersebut menyatakan besarnya daya listrik yang diserap lampu. Dengan kata lain, angka tersebut menyatakan besarnya energi listrik yang dikonsumsi lampu setiap detiknya. Namun, perlu diingat pula, dibelakang angka tersebut biasanya masih diikuti angka lain dengan satuan V. Misalnya sebuah lampu bertuliskan 5 W, 220 V.

Kita tahu bahwa W (watt) merupakan satuan daya, sedangkan V (volt) merupakan satuan tegangan/beda potensial. Jadi, lampu dengan tulisan 5 W, 220 V berarti lampu tersebut menggunakan daya listrik sebesar 5 watt, jika dipasang pada beda potensial 220 volt. Ini berarti jika lampu dipasang dengan beda potensial lain (misalnya 110 V), daya lampu tersebut tidak lagi sebesar 5 V. Lalu, berapakah daya lampu jika dipasang pada tegangan 110 V?

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$
$$P_2 = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \times P_1$$

$V_2$  = tegangan yang diterima alat (V)

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ watt sekon}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$
$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \\ 1 \text{ kWh} &= 1.000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} \\ 1 \text{ kWh} &= 3,6 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

Lalu, bagaimanakah cara kita menghitung rekening listrik yang harus kita bayarkan tiap bulannya? Untuk mengetahuinya, perhatikan contoh berikut.

[illegible]

273



## Contoh

1. Sebuah pemanas air (*heater*) menarik arus 10 A pada tegangan 220 V. *Heater* tersebut bekerja selama 1 jam setiap hari. Jika tarif untuk 1 kWh adalah Rp 350,00, tentukan:

- daya listrik yang dipakai *heater* setiap hari,
- energi listrik yang digunakan dalam satu bulan (30 hari),
- biaya pemakaian *heater* setiap bulan.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**  $I = 10 \text{ A}$

$$V = 120 \text{ V}$$

$$t = 1 \text{ jam}$$

- Ditanyakan:** a.  $P$   
b.  $E$   
c. biaya setiap bulan

**Jawab:**

- a. Untuk mencari daya listrik yang digunakan, kita dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= I V \\ &= 1 \times 220 \\ &= 2.200 \text{ W} \\ &= 2,2 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi, *heater* menggunakan daya listrik 2,2 kW.

- b. Untuk menghitung energi listrik dalam satu bulan, kita menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} W &= P \times t \\ &= 2,2 \times (1 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}) \\ &= 66 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jadi, energi listrik yang digunakan dalam satu bulan adalah 66 kWh.

- c. Biaya yang harus dibayarkan setiap bulan:

$$\begin{aligned} \text{biaya} &= W \times \text{tarif} \\ &= 66 \text{ kWh} \times \text{Rp } 350,00 \\ &= \text{Rp } 23.100,00 \end{aligned}$$

Jadi, biaya yang harus dibayarkan setiap bulan adalah Rp 23.100,00.

2. Di dalam sebuah rumah dipakai beberapa peralatan listrik sebagai berikut.

- 2 buah lampu 25 W 220 V menyala 3 jam sehari.
- 4 buah lampu 5 W 220 V menyala 7 jam sehari.
- 1 buah setrika listrik 240 W 220 V digunakan 30 menit sehari.
- 1 buah kulkas 350 W 220 V menyala 24 jam sehari.

Dari penggunaan alat tersebut, tentukan biaya yang harus dibayarkan dalam satu bulan, jika biaya per kWh adalah Rp 300,00.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

2 lampu dengan  $P = 25 \text{ W}$  dan  $t = 3 \text{ jam}$   
4 lampu dengan  $P = 5 \text{ W}$  dan  $t = 7 \text{ jam}$   
1 setrika dengan  $P = 240 \text{ W}$  dan  $t = 0,5 \text{ jam}$   
1 kulkas dengan  $P = 350 \text{ W}$  dan  $t = 24 \text{ jam}$

**Ditanyakan:** biaya dalam satu bulan

**Jawab:**

Untuk mencari biaya dalam 1 bulan, kita harus mencari energi listrik yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan  $W = P t$ , kita dapatkan energi yang digunakan setiap hari.

- $W$  untuk 2 lampu  
 $= 2 \times 25 \text{ W} \times 3 \text{ jam} = 150 \text{ Wh}$
- $W$  untuk 4 lampu  
 $= 4 \times 5 \text{ W} \times 7 \text{ jam} = 140 \text{ Wh}$
- $W$  untuk 1 setrika  
 $= 240 \text{ W} \times 0,5 \text{ jam} = 120 \text{ Wh}$
- $W$  untuk kulkas  
 $= 350 \text{ W} \times 24 \text{ jam} = 8.400 \text{ Wh}$

$$\begin{aligned} W_{\text{tot}} &= 150 \text{ Wh} + 140 \text{ Wh} + 120 \text{ Wh} + 8.400 \text{ Wh} \\ &= 8.810 \text{ Wh} \\ &= 8,81 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1 \text{ bln}} &= (8,81 \text{ kWh/hari}) \times 30 \text{ hari} \\ &= 264,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 264,3 \times \text{Rp } 300,00 \\ &= \text{Rp } 79.290,00 \end{aligned}$$

Jadi, biaya yang harus dibayarkan setiap bulan adalah Rp 77.544,00



Cobalah lakukan kegiatan berikut.

1. Catatlah spesifikasi daya listrik pada setiap alat listrik yang ada di rumah kalian.
2. Catatlah waktu pemakaian alat-alat listrik tersebut setiap harinya. Kalian bisa meminta tolong kepada anggota keluarga lainnya untuk membantu.
3. Berdasarkan data tersebut, hitunglah energi listrik yang digunakan alat listrik setiap hari.
4. Perkirakan biaya listrik yang mesti dibayarkan setiap bulannya. Cocokkan hasil perkiraanmu dengan rekening listrik pada bulan berikutnya.

Konsultasikan hasilnya kepada guru kalian.

Untuk menambah wawasan kalian, kerjakan *Ekspedisi* dan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Jelaskan proses yang terjadi pada saat pemakaian dan pengisian aki.
2. Jelaskan perbedaan tegangan AC dan tegangan DC.
3. Daya dari sebuah lampu mobil adalah 40 W yang dirancang untuk 12 V. Berapakah hambatan dari lampu tersebut?
4. Seorang anak kos menggunakan lampu 40 W yang dinyalakan 12 jam, dan sebuah TV dengan daya 80 W yang dinyalakan selama 7 jam. Berapa biaya yang dibayarkan selama 30 hari, jika biaya tiap 1 kwh Rp300,00?
5. Sebuah keluarga dalam setiap hari menyalakan TV dengan daya 90 W selama 9 jam, lampu dengan total daya 260 W selama 10 jam, dan peralatan-peralatan lain dengan daya total 700 W dipakai rata-rata 2 jam.
  - a. Berapakah pemakaian listrik dalam satu bulan?
  - b. Berapakah biaya yang harus dibayarkan setiap bulan, jika biaya per kWh adalah Rp275,00?

## Inti Sari

1. Arus listrik merupakan aliran muatan positif yang bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah. Besarnya arus listrik yang mengalir disebut dengan kuat arus listrik. Kuat arus listrik didefinisikan sebagai berikut.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

2. Kuat arus yang mengalir pada suatu penghantar tiap satu satuan luas disebut dengan rapat arus. Besar rapat arus adalah:

$$J = \frac{I}{A}$$

3. Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus yang sangat besar atau sangat kecil. Amperemeter mempunyai batas ukur tertentu. Dengan memasang hambatan

shunt, amperemeter dapat digunakan untuk mengukur arus yang melewati batas ukur. Kenaikan batas ukur dihitung dengan persamaan.

$$n = \frac{I_{sh}}{I}$$

Jika arus yang melewati amperemeter dan Rshunt dikalikan dengan hambatan yang bersesuaian maka didapat persamaan:

$$R_{sh} = \frac{R_A}{(n-1)}$$

4. Besar hambatan sebuah penghantar dipengaruhi oleh hambatan jenis penghantar, panjang penghantar, dan luas penampang, sesuai dengan persamaan berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

5. Hambatan jenis didefinisikan sebagai besar hambatan sebuah penghantar dengan panjang 1 m dan luas penampang 1 m<sup>2</sup>. Besar perubahan hambatan jenis dinyatakan dengan persamaan,

$$\Delta\rho = \rho_0 \propto \Delta t$$

6. Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan pada sebuah hambatan berbanding lurus dengan kuat arus pada suhu konstan dan dinyatakan dalam bentuk persamaan

$$V = I R$$

7. Pada rangkaian resistor seri berlaku persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned} I_{\text{tot}} &= I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I \\ V_{\text{tot}} &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \\ R_s &= R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \end{aligned}$$

8. Rangkaian paralel resistor berlaku persamaan-persamaan berikut.

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$\begin{aligned} I_p &= I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \\ \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \end{aligned}$$

9. Hukum Kirchoff I menyatakan bahwa jumlah kuat arus listrik yang masuk ke suatu simpul (titik percabangan) sama dengan jumlah arus listrik yang keluar dari titik simpul tersebut.

10. Hukum Kirchoff II menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik ( $\mathcal{E}$ ) dan penurunan tegangan ( $IR$ ) sama dengan nol. Hukum Kirchoff II tersebut dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut.

$$\sum \mathcal{E} + \sum (IR) = 0,$$

$$\text{Atau } \sum \mathcal{E} = \sum IR$$

11. Daya listrik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t}$$

## Telaah Istilah

**Alternating current** Arus bolak-balik

**Amperemeter** Alat untuk mengukur kuat arus listrik

**Arus listrik** Aliran muatan positif yang bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah

**Daya listrik** Energi listrik per satuan waktu

**Direct current** Arus searah

**Energi listrik** Energi yang tersimpan di dalam arus listrik

**GGL** Gaya Gerak Listrik

**Hambatan muka** Hambatan yang dipasang untuk memperbesar batas ukur voltmeter

**Hambatan Shunt** Hambatan yang dipasang untuk memperbesar batas ukur amperemeter

**Jembatan Wheatstone** Salah satu metode untuk mengukur hambatan listrik secara teliti

**Ohmmeter** Alat untuk mengukur hambatan listrik

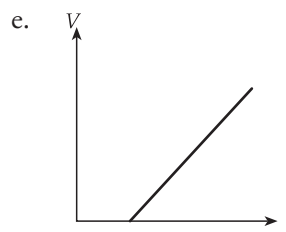
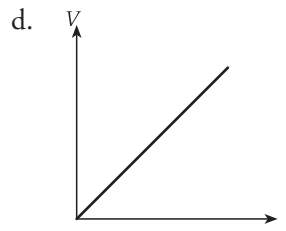
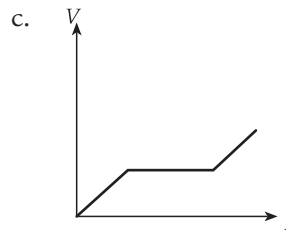
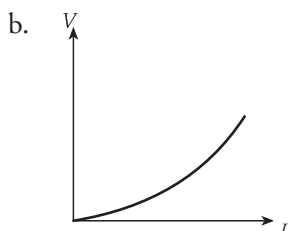
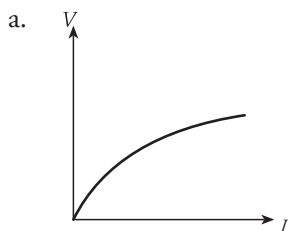
**Resistor** Hambatan

**Voltmeter** Alat untuk mengukur tegangan listrik

**Watt** Satuan daya listrik

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat

1. Perhatikan hal-hal berikut.
  - (i) untuk mengukur arus
  - (ii) untuk mengukur tegangan
  - (iii) dipasang seri pada rangkaian
  - (iv) dipasang paralel pada rangkaian
 Yang sesuai untuk penggunaan voltmeter adalah . . . .
2. Suatu penampang penghantar dilewati  $4 \times 10^{20}$  elektron dalam waktu 8 sekon. Kuat arus listrik pada penampang tersebut adalah . . . .
  - a. 16 A
  - b. 8 A
  - c. 5 A
  - d. 4 A
  - e. 2 A
3. Grafik beda potensial ( $V$ ) terhadap kuat arus ( $I$ ) pada suatu logam yang memenuhi Hukum Ohm ditunjukkan oleh . . . .



4. Seorang siswa membawa sebuah amperemeter untuk percobaan di kelas. Ia melihat amperemeter tersebut memiliki spesifikasi hambatan dalam  $20 \, \Omega$ , dan batas ukur maksimal 2 A. Besar hambatan shunt yang harus dipasang agar batas ukur menjadi 5 A ampere adalah . . . .
  - a.  $3 \, \Omega$
  - b.  $6 \, \Omega$
  - c.  $8 \, \Omega$
  - d.  $9 \, \Omega$
  - e.  $10 \, \Omega$
5. Muatan sebesar  $4 \, \mu\text{C}$  melalui penghantar dalam waktu 2 sekon, ketika terhubung dengan beda potensial 8 V. Hambatan penghantar tersebut sebesar . . . .
  - a.  $2 \times 10^{-6} \, \Omega$
  - b.  $2 \times 10^6 \, \Omega$
  - c.  $4 \times 10^{-6} \, \Omega$

- d.  $4 \times 10^6 \Omega$   
e.  $1,6 \times 10^7 \Omega$

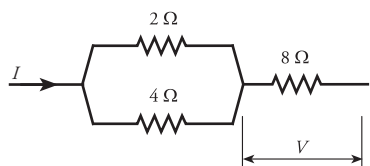
6. Dimensi hambatan jenis suatu kawat adalah ....

- a.  $[M][L]^3[T]^{-3}[\theta]^{-2}$   
b.  $[M]^{-1}[L]^{-3}[T]^3[\theta]$   
c.  $[M][L]^2[T]^3[\theta]^{-1}$   
d.  $[M][L]^2[T]^2[\theta]^{-2}$   
e.  $[M]^{-2}[L]^3[T]^3[\theta]^{-2}$

7. Sebuah penghantar memiliki hambatan  $75 \Omega$  pada suhu es melebur. Pada suhu  $10^\circ\text{C}$ , hambatannya menjadi  $80 \Omega$ . Koefisien hambatan jenis penghantar tersebut adalah  $\dots/^\circ\text{C}$

- a.  $6,25 \times 10^{-3}$   
b.  $6,25 \times 10^{-2}$   
c.  $6,67 \times 10^{-4}$   
d. 1,6  
e. 6,25

8. Pada rangkaian berikut  $I = 2\text{A}$ , besar  $V$  adalah ....

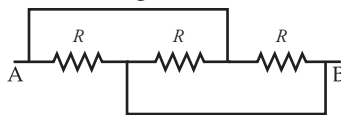


- a. 16 V  
b. 24 V  
c. 32 V  
d. 48 V  
e. 46 V

9. Tiga buah resistor, masing-masing  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 6\Omega$  disusun secara paralel. Kemudian rangkaian hambatan tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan 60 V. Energi listrik total bila arus listrik mengalir selama 0,5 jam adalah ....

- a. 10,8 kWh  
b. 10 kWh  
c. 5,4 kWh  
d. 3,6 kWh  
e. 1,8 kWh

10. Perhatikan gambar berikut.



Jika semua  $R = 30 \text{ k}\Omega$ , hambatan pengganti rangkaian tersebut adalah ....

- a. 10 k $\Omega$   
b. 15 k $\Omega$   
c. 30 k $\Omega$   
d. 60 k $\Omega$   
e. 90 k $\Omega$

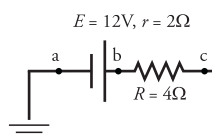
11. Tiga buah baterai mempunyai ggl yang sama yaitu 1,5 V. Hambatan dalam masing-masing baterai berturut-turut 0,5  $\Omega$ , 1  $\Omega$ , 1,5  $\Omega$ . Tiga baterai tersebut disusun secara seri. Kuat arus yang dihasilkan sebesar ....

- a. 3,5 A  
b. 2,5 A  
c. 1,5 A  
d. 1 A  
e. 0,5 A

12. Sebuah lampu pijar dengan spesifikasi 60 W, 110 V akan dinyalakan pada jaringan listrik 220 V dengan menggunakan transformator berefisiensi 80%. Jika  $I_1$  dan  $I_2$  masing-masing adalah kuat arus pada kumparan primer dan sekunder maka perbandingan  $I_1$  dan  $I_2$  adalah ....

- a. 2 : 1  
b. 8 : 5  
c. 4 : 3  
d. 3 : 4  
e. 5 : 8

13.



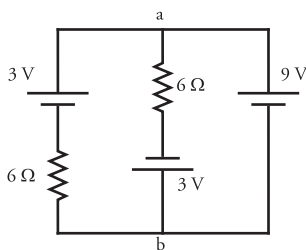
Sebuah aki dengan ggl 12V dan hambatan dalam 2 ohm dihubungkan dengan hambatan luar 4 ohm seperti gambar. Jika kutub negatif aki dihubungkan dengan tanah, maka potensial di titik C adalah ....

- a. 0 V
- b. 4 V
- c. 6 V
- d. 10 V
- e. 12 V

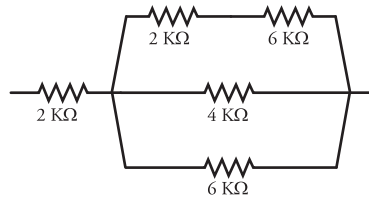
14. Sebuah dispenser mempunyai spesifikasi 350 W, 220 V. Bila dispenser dipasang pada tegangan 110 V, daya yang diserap menjadi....
- a. 350 W
  - b. 175 W
  - c. 87,5 W
  - d. 35 W
  - e. 17,5 W
15. Bola lampu mempunyai daya 5 watt. Bila lampu tersebut menyala selama 2 jam tiap hari, energi listrik yang digunakan oleh lampu tersebut sebesar . . .
- a. 360 J
  - b. 3,6 kJ
  - c. 36 kJ
  - d. 70 kJ
  - e. 252 kJ

**B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.**

1. Jelaskan fungsi dan cara menggunakan alat-alat berikut.
- a. amperemeter
  - b. voltmeter
  - c. ohmmeter
  - d. AVO meter
2. Tentukan besar tegangan ab dari rangkaian berikut.



3. Lima buah hambatan seperti gambar berikut.



Tentukan hambatan pengganti dari rangkaian tersebut.

4. Sebuah generator listrik di sebuah kantor menghasilkan tegangan 100 V. Generator tersebut digunakan untuk menyalakan lima buah lampu masing-masing berspesifikasi 50 W, 100 V yang disusun parallel. Tentukan:
- a. hambatan pada setiap lampu,
  - b. hambatan total rangkaian tersebut,
  - c. arus yang mengalir pada setiap lampu,
  - d. energi listrik yang terpakai selama 2 jam.
5. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah resistor. Arus yang mengalir pada rangkaian tersebut 0,5 A. Jika pada rangkaian ditambahkan sebuah resistor 2  $\Omega$  yang dihubungkan seri dengan resistor pertama, arus turun menjadi 0,25 A. Tentukan:
- a. gaya gerak listrik baterai,
  - b. hambatan total rangkaian tersebut.
6. Sebuah lampu 10 W, 220V dihubungkan dengan sebuah hambatan 50  $\Omega$  dan dipasang pada tegangan 110 V. Tentukan besar arus listrik yang mengalir dalam rangkaian.
7. Suatu kamar menggunakan penerangan lampu 20W, 110V. Suatu saat listrik dari PLN mengalami penurunan tegangan sebanyak 20% dari tegangan terpasang. Hitunglah daya lampu pada saat terjadi penurunan tegangan listrik.

8. Pada setrika listrik tertulis 300 W, 220 V. Jelaskan maksud dari spesifikasi tersebut.
9. Sebuah rumah menggunakan beberapa peralatan listrik. Pemakaian rata-rata setiap hari adalah sebagai berikut.
  - a. Televisi 14 inchi dengan daya 300 W dinyalakan 5 jam sehari.
  - b. 5 buah lampu TL 20 W dinyalakan 4 jam sehari.
  - c. Lemari es 350 W menyala setiap saat.
  - d. Komputer 400 W dinyalakan 5 jam setiap hari.

- e. 4 buah lampu 5 W dinyalakan 12 jam setiap hari.

Berdasarkan data pemakaian listrik tersebut, hitunglah energi listrik yang dipakai setiap bulan (anggaplah 1 bulan = 30 hari). Jika biaya tiap kWh adalah Rp 275,00, hitunglah biaya yang harus dibayarkan pada bulan tersebut.

10. Jelaskan jalur transmisi daya listrik dari pembangkit listrik hingga sampai rumah-rumah.

## B a b IX

# Gelombang Elektromagnetik



*www.high-definition-television-reviews*

**R**adio atau televisi merupakan alat elektronika yang dapat memberikan informasi dari dalam maupun luar negeri. Stasiun radio atau televisi memancarkan siarannya pada gelombang tertentu yang berbeda dengan gelombang radio atau televisi lainnya. Hal ini dilakukan agar siaran radio atau televisi tidak saling mengganggu satu sama lain. Gelombang yang dipancarkan radio atau televisi merupakan salah satu bagian dari gelombang elektromagnetik. Ingin tahu lebih banyak jenis dan manfaat gelombang elektromagnetik? Kalian akan mengetahuinya melalui bab ini.





Pada bab berikut kalian akan diajak untuk mengenal lebih dekat konsep-konsep yang berkenaan dengan gelombang elektromagnetik. Dengan melakukan penelusuran dari pelbagai sumber, kalian diharapkan mampu menemukan dan merumuskan pengertian dan sifat gelombang elektromagnetik. Dengan melakukan diskusi kalian diharapkan mampu menyusun deret gelombang elektromagnetik berdasarkan frekuensi atau panjang gelombang dalam bentuk spektrum elektromagnetik. Setelah itu, dengan mengumpulkan informasi dari pelbagai sumber, kalian akan mampu mendefinisikan penggunaan gelombang elektromagnetik dalam pelbagai bidang kehidupan. Terakhir, kalian akan mampu membedakan penggunaan frekuensi atau panjang gelombang pada radar, telepon, radio, atau alat komunikasi lainnya.

## A Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang radio atau gelombang televisi merupakan salah satu contoh gelombang elektromagnetik. Gelombang radio atau televisi biasanya dapat dicari pada frekuensi tertentu. Misalnya, radio Madania mengudara pada frekuensi 94,3 MHz. Nah, sebelum kita melangkah lebih jauh, lakukanlah diskusi untuk mencari jawaban pertanyaan pada *Eureka* berikut.

### Eureka

Pemanfaatan gelombang elektromagnetik banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Dengan mencari dari pelbagai sumber, carilah jawaban untuk pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

1. Stasiun radio tertentu hanya dapat ditangkap pada frekuensi tertentu saja, misalnya 94,3 MHz. Apakah arti angka tersebut? Apa pula arti dari MHz?
2. Kalian tentunya mengenal istilah FM, AM, MW, dan SW. Coba kalian jelaskan pengertian istilah-istilah tersebut.
3. Berbeda dengan radio, stasiun televisi memancarkan siarannya pada suatu frekuensi yang disebut UHF atau VHF. Apakah arti dari UHF dan VHF?
4. Pada sebuah rumah sakit yang agak besar, biasanya terdapat ruang khusus yang disebut ruang radiologi. Satu hal yang telah dikenal luas mengenai radiologi adalah foto rontgen. Coba kalian jelaskan pengertian radiologi dan manfaat foto rontgen. Tuliskan hasil diskusi kalian buku tugas. Kemudian, pesentasikan di depan kelompok lainnya untuk memperoleh masukan dan saran. Setelah itu, kumpulkan hasil akhirnya kepada guru kalian.

## 1. Pengertian Gelombang Elektromagnetik

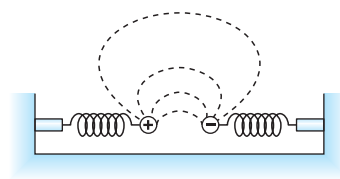
Pada abad ke-19, gelombang elektromagnetik banyak dibicarakan oleh para fisikawan, seperti Ampere, Coulomb, Biot Savart, dan Faraday. Mereka telah melakukan penelitian tentang gejala-gejala kelistrikan.

Salah satu kesimpulan dari hasil penelitian tersebut adalah bahwa listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya, medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Hubungan antara medan listrik dan medan magnet ini merupakan dasar ditemukannya gelombang elektromagnetik.

Pada tahun 1831 **James Clerk Maxwell** melakukan penelitian tentang medan listrik dan medan magnet. Dari hasil penelitiannya, ia mengemukakan hipotesis yang berbunyi “**Jika perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, maka perubahan medan listrik juga dapat menimbulkan medan magnet**”. Hipotesis ini mengacu pada tiga aturan dasar listrik-magnet, yaitu:

- Hukum Coulomb yang menyatakan bahwa muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik di sekitarnya.
- Hukum Biot-Savart yang menyatakan bahwa arus listrik atau muatan listrik yang mengalir dapat menghasilkan medan magnet di sekitarnya.
- Hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan medan magnet dapat menghasilkan medan listrik.

Untuk membuktikan hipotesisnya, Maxwell kemudian melakukan percobaan dengan skema peralatan seperti Gambar 9.1. Maxwell melakukan percobaan menggunakan dua isolator yang diberi muatan berlawanan (positif dan negatif) yang masing-masing diikat pada ujung pegas. Jika kedua pegas digetarkan, maka jarak antara kedua muatan akan berubah-ubah. Akibatnya, medan listrik di antara keduanya juga berubah-ubah. Perubahan medan listrik ini akan menimbulkan perubahan medan magnet. Perubahan medan magnet ini menyebabkan timbulnya medan listrik. Ini terjadi secara terus-menerus.

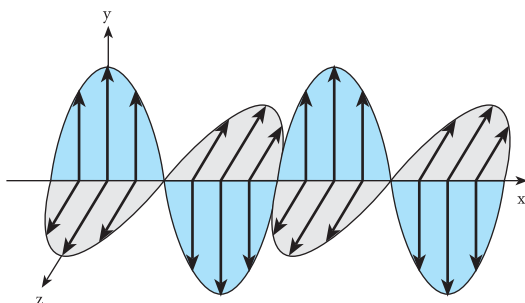


Gambar 9.1 Skema percobaan Maxwell

Perubahan medan listrik dan medan magnet ini menjalar atau merambat ke segala arah. Perambatan medan listrik  $E$  dan medan magnet  $B$  yang tegak lurus satu sama lain secara bersamaan disebut **gelombang elektromagnetik**. Jadi:

**Gelombang elektromagnetik** didefinisikan sebagai gelombang yang terjadi karena adanya perubahan medan magnet dan medan listrik yang saling tegak lurus serta keduanya tegak lurus pula dengan arah perambatannya.

Perhatikan Gambar 9.2.



Gambar 9.2 Gelombang elektromagnetik terbentuk dari medan listrik  $E$  dan medan magnet  $B$  yang saling tegak lurus. Pada saat bersamaan, kedua medan magnet ini merambat pada arah yang tegak lurus keduanya.



#### James Clerk Maxwell

(1831-1879) adalah seorang fisikawan dan matematikawan Skotlandia. Karya di bidang elektromagnetisme mengikuti jejak Faraday. Ia sangat cemerlang dalam menempatkan temuan Faraday dalam bentuk matematis.

Perhitungannya menunjukkan jika cahaya adalah osilasi energi antara listrik dan magnet. Beliau juga menunjukkan jika ada jenis gelombang elektromagnetik lain yang frekuensinya lebih tinggi atau lebih rendah dari gelombang cahaya.

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, him. 111

Karena vektor perubahan medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambatnya, maka gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal. Cepat rambat gelombang elektromagnetik ini hanya bergantung pada permitivitas listrik di udara  $\epsilon_0$  dan permeabilitas magnet di udara  $\mu_0$ . Cepat rambat gelombang elektromagnetik dirumuskan dengan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

**Keterangan:**

$c$  = cepat rambat gelombang elektromagnetik (m/s)

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik di udara

=  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$

$\mu_0$  = permeabilitas magnet di udara

=  $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$

Berdasarkan nilai permitivitas vakum dan nilai permeabilitas vakum tersebut, diperoleh cepat rambat gelombang elektromagnetik sebesar  $2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$  atau  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Cepat rambat gelombang elektromagnetik ini sama dengan kecepatan cahaya, sehingga Maxwell menganggap bahwa cahaya juga merupakan gelombang elektromagnetik.

Pada tahun 1887, **Heinrich Hertz** berusaha untuk membuktikan kebenaran hipotesis Maxwell. Ia mengukur radiasi gelombang magnetik yang mempunyai kecepatan sesuai dengan nilai yang diduga oleh Maxwell. Perhatikan Gambar 9.3.

Dengan memberikan arus listrik, kumparan Ruhmkorf akan menginduksikan tegangan pada kedua elektroda di sisi A. Karena adanya pelepasan muatan, pada elektroda akan terjadi percikan api. Kemudian, diikuti elektroda di sisi B yang juga terjadi percikan api. Ini menandakan jika dalam rangkaian terjadi perpindahan energi gelombang elektromagnetik dari sisi A ke sisi B.

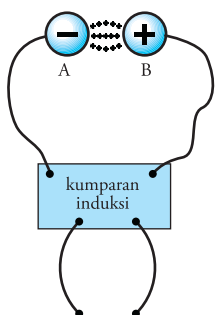
Selain itu, Hertz juga melakukan percobaan yang menunjukkan sifat-sifat gelombang cahaya, seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Jadi, eksperimen yang dilakukan Hertz sudah cukup untuk membuktikan hipotesis Maxwell. Untuk menghargai jasanya, hertz ditetapkan sebagai satuan frekuensi dalam SI dengan simbol **Hz**.

Nah, berdasarkan eksperimen yang dilakukan Hertz, beberapa sifat gelombang elektromagnetik, yaitu:

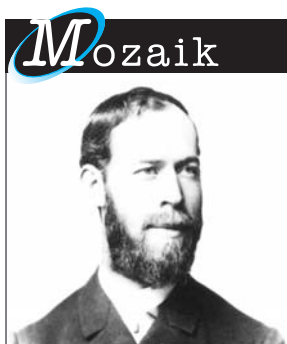
- dapat merambat dengan atau tanpa zat perantara/medium,
- termasuk gelombang transversal,
- merambat dalam arus lurus,
- dapat mengalami interferensi, difraksi, dan polarisasi,
- dapat dipantulkan atau dibiaskan.

## 2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Suatu gelombang pasti mempunyai panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Panjang gelombang dan frekuensi yang dimiliki sebuah gelombang menunjukkan ciri khas dari gelombang tersebut. Demikian juga dengan gelombang elektromagnetik. Gelombang ini mempunyai rentang



Gambar 9.3  
Skema Percobaan Hertz

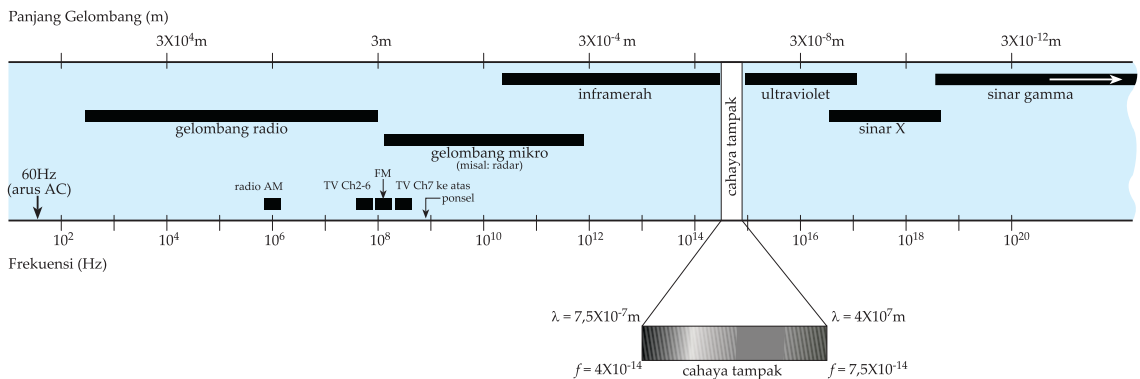


**Heinrich Rudolf Hertz** (1857-1894) adalah seorang fisikawan Jerman. Ia lah yang membuktikan kebenaran hipotesis elektromagnetik yang dikemukakan oleh Maxwell. Ia telah berhasil mempelajari sifat-sifat gelombang elektromagnetik yang mendasari radiotelegrafi. Selain itu, ia juga menyelidiki efek fotoelektrik. Sebagai penghargaan, namanya digunakan sebagai satuan frekuensi, yaitu hertz (Hz).

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 75

frekuensi antara 1 Hz hingga  $10^{25}$  Hz dan panjang gelombang antara 10-16 m hingga  $10^9$  m. Keragaman frekuensi dan panjang gelombang ini menyebabkan terjadinya spektrum gelombang elektromagnetik.

Spektrum gelombang elektromagnetik mulai dari frekuensi terkecil hingga frekuensi terbesar terdiri atas gelombang radio, gelombang televisi, gelombang mikro (radar), sinar inframerah, sinar atau cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma. Perhatikan Gambar 9.4.



Giancoli II, 2001, hlm. 227

Gambar 9.4 Spektrum elektromagnetik

Berdasarkan persamaan Maxwell, cepat rambat gelombang elektromagnetik adalah sama untuk semua jenis gelombang, tidak tergantung frekuensi atau panjang gelombang yang dimilikinya. Hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang elektromagnetik diberikan dalam bentuk persamaan:

$$c = f\lambda$$

**Keterangan:**

$c$  = cepat rambat gelombang elektromagnetik

=  $3 \times 10^8$  m/s

$f$  = frekuensi (Hz)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

Untuk mengetahui cara menghitung frekuensi dan panjang gelombang elektromagnetik, simaklah contoh di bawah ini.

## Contoh

1. Hitung panjang gelombang dari FM 90,3 MHz.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$f = 90,3 \text{ MHz} = 9,03 \times 10^7 \text{ Hz}$

**Ditanyakan:**  $\lambda$

**Jawab:**

Panjang gelombang radio FM 90,3 MHz dapat dicari dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{9,03 \times 10^7}$$

$$= 3,32 \text{ cm}$$

Jadi, panjang gelombang radio tersebut adalah 3,32 m

2. Tentukan frekuensi gelombang yang dipancarkan *microwave* dengan panjang gelombang 166,67 m.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$f = 166,67 \text{ m}$$

**Ditanyakan:**  $\lambda$

**Jawab:**

Untuk mencari frekuensi, gunakan persamaan:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{166,67}$$

$$= 1,8 \times 10^{10} \text{ Hz}$$

$$= 18 \text{ GHz}$$

Jadi, frekuensi gelombang tersebut adalah 18 GHz.

Pengukuran panjang gelombang cahaya tampak telah dilakukan pada awal abad ke-19, jauh sebelum ada anggapan cahaya sebagai gelombang elektromagnetik. Panjang gelombang cahaya tampak ini berada pada kisaran 400 nm hingga 750 nm ( $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  hingga  $7,5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ). Dengan menggunakan persamaan tersebut, frekuensi cahaya tampak berada pada kisaran  $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$  sampai  $7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ . Frekuensi dan panjang gelombang pada cahaya tampak ini memberikan spektrum tersendiri. Spektrum cahaya tampak terdiri atas cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu.

Gelombang radio dan gelombang mikro dapat dibuat secara elektronis di laboratorium. Sedangkan gelombang dengan gelombang lebih tinggi sangat sulit dibuat secara elektronis. Gelombang ini terbentuk secara alamiah, seperti pancaran atom, molekul, maupun inti atom. Namun, secara umum gelombang elektromagnetik dihasilkan melalui percepatan elektron atau partikel-partikel bermuatan lainnya. Sebagai contoh adalah Sinar-X yang dihasilkan oleh elektron berkecepatan tinggi yang diperlambat secara mendadak. Salah satu sumber gelombang elektromagnetik adalah matahari sebagai sumber gelombang inframerah dan gelombang ultraviolet.

Untuk menambah pengetahuan kalian tentang gelombang elektromagnetik, kerjakan *Ekspedisi* berikut.



## Ekspedisi

Berdasarkan diagram spektrum gelombang elektromagnetik pada gambar 9.4 dan dengan mencari dari pelbagai sumber, lengkapilah tabel berikut.

No	Jenis GEM	Frekuensi	Panjang Gelombang	Sumber	Manfaat
1					
2					
3					
4					
dst					

Presentasikan hasil penelusuran kalian di depan kelas dengan arahan dari guru.

Untuk mengetahui tingkat penguasaan kompetensi kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

1. Jelaskan hipotesis Maxwell mengenai gelombang elektromagnetik.
2. Sebutkan sifat-sifat gelombang elektromagnetik!
3. Sebutkan spektrum gelombang elektromagnetik dari yang frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar.
4. Sebuah stasiun radio mempunyai gelombang FM 103,5 MHz. Berapakah panjang gelombang yang dipunyai gelombang radio tersebut?
5. Berapa panjang gelombang sinar radar  $27,75 \times 10^9$  Hz?
6. Sebuah gelombang elektromagnetik memiliki panjang gelombang 750 nm. Berapa frekuensinya, dan apa jenis cahayanya?

## B Pemanfaatan Gelombang Elektromagnetik dalam Kehidupan Sehari-hari

Telah disebutkan sebelumnya bahwa gelombang elektromagnetik mempunyai ragam sesuai frekuensi dan panjang gelombangnya. Dengan adanya spektrum yang berbeda, mengakibatkan jenis gelombang mempunyai ciri atau karakteristik yang beragam. Gelombang-gelombang elektromagnetik ini mempunyai karakteristik dan manfaat yang berbeda-beda.

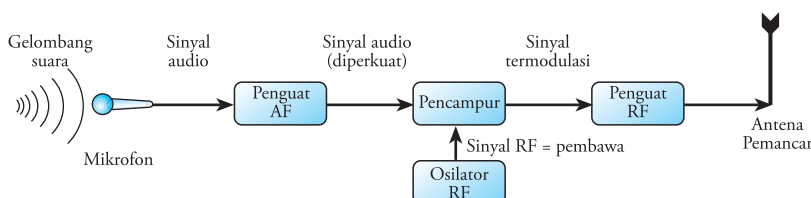
Berikut akan dibahas beberapa gelombang elektromagnetik dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

### 1. Gelombang Radio dan Gelombang Televisi

Mendengarkan radio atau menonton televisi dapat memperkaya pengetahuan kita. Pesawat radio dan televisi merupakan salah satu peralatan yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik, khususnya gelombang radio dan gelombang televisi.

Gelombang radio merupakan salah satu gelombang yang sering digunakan sebagai sarana komunikasi. Saat kita berkomunikasi, gelombang radio berfungsi sebagai gelombang pembawa (*carrier wave*) yang membawa gelombang bunyi (audio) dan atau video. Gelombang ini bekerja pada daerah  $10^4$ – $10^8$  Hz.

Kita semua tentunya telah mengetahui bahwa siaran radio dapat didengarkan karena dipancarkan oleh **stasiun pemancar** radio. Sementara pesawat radio di rumah kita disebut pesawat penerima yang dilengkapi antena. Proses pengiriman suara dari stasiun pemancar sehingga dapat kita dengarkan dapat kalian lihat pada Gambar 9.5.

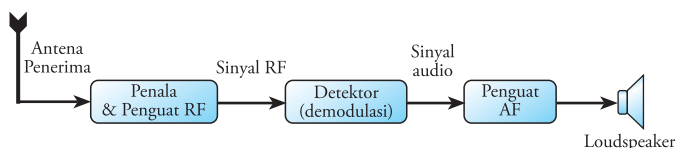


Gambar 9.5 Diagram pengiriman audio pada stasiun pemancar radio

Berdasarkan Gambar 9.5, proses pengiriman siaran radio dimulai dari sumber suara. Gelombang suara ini diubah menjadi sinyal listrik oleh mikrofon. Sinyal listrik ini disebut **sinyal frekuensi audio** (AF= *Audio Frequency*) karena frekuensinya berada dalam gelombang audio, yakni 20 – 20.000 Hz. Sinyal ini kemudian diperkuat secara elektronis oleh penguat AF dan dicampur dengan sinyal frekuensi radio (RF). Frekuensi RF dipilih sedemikian rupa sehingga menghasilkan frekuensi yang khas dan berbeda dengan frekuensi dari pemancar radio lainnya. Frekuensi ini disebut sebagai **frekuensi pembawa** (*carrier*). Frekuensi ini kemudian dipancarkan lewat antena pemancar yang ditangkap oleh antena penerima pada radio.

Sementara itu, pengiriman siaran pada stasiun televisi hampir sama dengan stasiun radio. Hanya saja, pada stasiun televisi bukan hanya gelombang audio saja yang dipancarkan tetapi dicampur dengan gelombang video.

Ketika ingin mendengarkan siaran radio atau melihat siaran televisi, maka kita harus mempunyai pesawat penerima, yaitu pesawat radio atau pesawat televisi. Proses penerimaan siaran pada pesawat radio dapat kalian pelajari dari Gambar 9.6.



Gambar 9.6 Diagram penerima radio

Proses penerimaan siaran radio atau televisi di rumah dimulai dari antena yang menangkap semua gelombang elektromagnetik yang dipancarkan stasiun pemancar. Gelombang yang tertangkap antena masih sangat lemah dan mengandung beberapa frekuensi dari stasiun yang berbeda. Dengan menggunakan induktor variabel (penala atau pemilih gelombang), penerima dapat memilih salah satu frekuensi. Sinyal RF yang terpilih perlu diperkuat dengan penguat RF yang kemudian diteruskan ke detektor. Di sini, sinyal RF mengalami demodulasi, yaitu pemisahan frekuensi sinyal pembawa dengan sinyal audio. Sinyal audio ini kemudian diperkuat dan dikirim ke *loudspeaker* atau *headphone*. Sementara pada televisi, sinyal video diperkuat dan dikirim ke tabung gambar atau tabung sinar katoda.

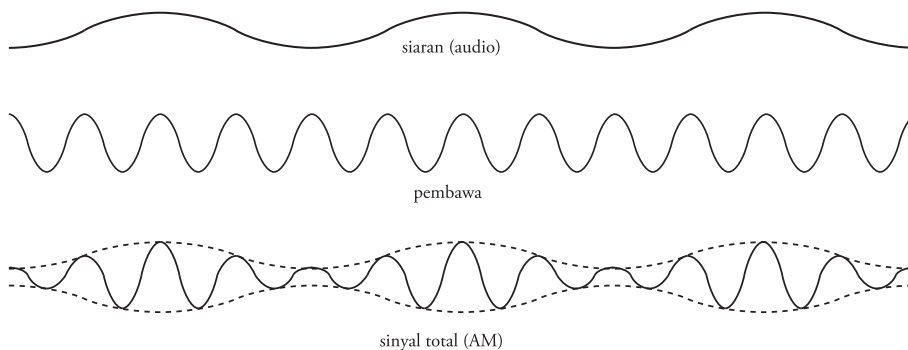
Berdasarkan sinyal bunyi yang dibawa, gelombang radio mempunyai dua cara pengiriman, yakni **modulasi amplitudo** (*Amplitudo Modulation= AM*) dan **modulasi frekuensi** (*Frequency Modulation= FM*).

#### a. Modulasi Amplitudo (AM)

Perlu kita tahu, gelombang pada daerah frekuensi  $10^4$ - $10^7$  Hz mudah dipantulkan oleh ionosfer dalam lapisan atmosfer. Karena itu, gelombang ini mampu menjangkau daerah-daerah yang jauh dari stasiun pemancar. Gelombang radio dipancarkan melalui antena pemancar dan ditangkap oleh antena radio penerima. Kemudian, gelombang tersebut diubah sedemikian rupa oleh radio penerima menjadi gelombang bunyi.



Informasi yang dibawa oleh gelombang ini sebagai perubahan amplitudo atau sering disebut *Amplitudo Modulation* (AM). Perhatikan Gambar 9.7.

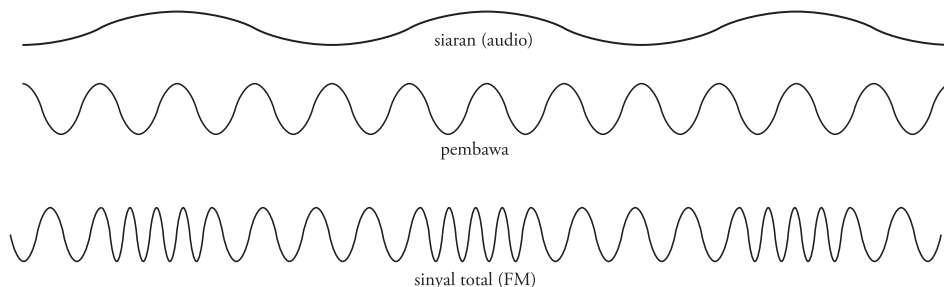


**Gambar 9.7** Pada modulasi amplitudo (AM), amplitudo gelombang pembawa divariasi mengikuti amplitudo gelombang audio.

Pada radio AM, gelombang pembawa yang frekuensinya lebih tinggi dari gelombang audio dibuat bervariasi mengikuti sinyal audio. Karena amplitudo gelombang pembawa diubah (dimodulasi) maka disebut modulasi amplitudo.

## b. Modulasi Frekuensi

Gelombang elektromagnetik pada daerah frekuensi  $10^8$  Hz mampu menembus lapisan ionosfer. Oleh sebab itu, gelombang ini sering digunakan sebagai alat komunikasi melalui satelit. Informasi yang dibawa oleh gelombang pada daerah ini merupakan sebagai perubahan frekuensi atau sering disebut *Frequency Modulation* (FM).



**Gambar 9.8** Pada frekuensi amplitudo (FM), frekuensi gelombang pembawa divariasi mengikuti amplitudo gelombang audio.

Kendati daerah frekuensi ini jangkauannya terbatas, tetapi dapat mengurangi desau atau memberi penerimaan yang jernih meskipun cuaca buruk. Oleh karena ketepatan suara yang tinggi, gelombang ini sering digunakan untuk televisi dan radio FM.

Di bawah ini terdapat penggolongan gelombang radio berdasarkan frekuensi dan panjang gelombang beserta penggunaannya. Coba kalian perhatikan Tabel 9.1.



**Tabel 9.1** Penggunaan gelombang radio

Frekuensi	Panjang Gelombang	Penggunaan
<i>Low Frequency (LF)</i> 30 kHz – 300 kHz	<i>Long wave (LW)</i> 1500 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radio gelombang panjang (radio LW)</li> <li>• komunikasi jarak jauh</li> </ul>
<i>Medium Frequency (MF)</i> 300 kHz – 3 MHz	<i>Medium wave (MW)</i> 300 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radio gelombang medium (radio MW)</li> <li>• komunikasi jarak jauh</li> </ul>
<i>High Frequency (HF)</i> 3 MHz – 30 MHz	<i>Short wave (SW)</i> 30 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radio gelombang pendek (radio MW)</li> <li>• komunikasi radio amatir</li> </ul>
<i>Very High Frequency (VHF)</i> 30 MHz – 300 MHz	<i>Very Short wave</i> 3 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• radio FM</li> <li>• radio mobil polisi</li> <li>• komunikasi pesawat udara</li> </ul>
<i>Ultra High Frequency (UHF)</i> 300 MHz – 3 GHz	<i>Ultra Short wave</i> 30 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komunikasi jarak pendek</li> <li>• televisi</li> </ul>
<i>Super High Frequency (SHF)</i> > 3 GHz	<i>Microwaves</i> 3 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komunikasi satelit</li> <li>• radar</li> <li>• saluran televisi</li> <li>• telepon</li> </ul>

## 2. Gelombang Mikro dan Radar

Radar adalah singkatan dari *radio detection and ranging*. Dalam bahasa Indonesia, radar diartikan sebagai sistem alat yang digunakan untuk mendeteksi letak benda, kecepatan, maupun arah geraknya. Gelombang elektromagnetik yang dipakai radar adalah gelombang yang berada pada frekuensi  $10^8$ - $10^{11}$  Hz atau gelombang mikro (*microwave*).

Radar banyak digunakan oleh manusia, misalnya di bandara atau pelabuhan. Pada radar, sebuah antena yang berputar berfungsi untuk memancarkan getaran gelombang mikro. Getaran tersebut akan dipantulkan kembali pada radar apabila menangkap sebuah benda. Kemudian, getaran gelombang itu akan ditampilkan pada layar radar yang berisi informasi tentang ukuran benda dan jarak benda dari pemancar.

Jarak benda ke radar dapat dihitung dengan mengukur selang waktu yang dibutuhkan hingga gelombang pantul ditangkap radar kembali. Jarak benda dapat divari dengan persamaan:

$$s = \frac{c \Delta t}{2}$$

**Keterangan:**

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$s$  = jarak benda (m)

$\Delta t$  = waktu yang diperlukan (s)

Perhatikan contoh soal berikut.



**Gambar 9.9** Penggunaan radar di bandar udara.



## Contoh

Sebuah getaran gelombang mikro dipancarkan oleh antena radar, kemudian dipantulkan kembali ketika menabrak kapal laut. Antena radar menerima gelombang pantul  $5 \times 10^{-5}$  s setelah getaran tersebut dipancarkan. Apabila kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/s, hitung jarak antara kapal laut dan antena radar.

**Penyelesaian:**

**Diketahui:**

$$\Delta t = 5 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

**Ditanyakan:**  $s$

**Jawab:**

Untuk mencari jarak kapal ke antena, gunakan persamaan:

$$\begin{aligned} s &= \frac{c \Delta t}{2} \\ &= \frac{(3 \times 10^8) \times (5 \times 10^{-5})}{2} \\ &= \frac{15.000}{2} \\ &= 7.500 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, jarak antara kapal laut dengan antena radar adalah 7.500 meter.

### 3. Sinar Inframerah

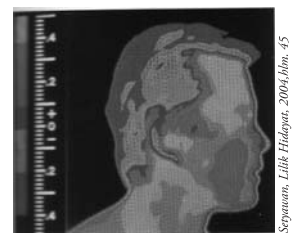
Sinar inframerah pertama kali ditemukan oleh ilmuwan dari Inggris bernama **William Herschel** (1738-1822). Ia menemukannya saat meletakkan termometer di sebelah bagian merah pada spektrum cahaya tampak. Saat dilihat, ternyata suhu termometer mengalami kenaikan. Akibatnya, molekul-molekulnya akan mengalami rotasi dan getaran. Nah, pengaruh getaran ini akan menghasilkan gelombang elektromagnetik pada daerah yang berfrekuensi  $10^{11}$ - $10^{14}$  Hz dan panjang gelombangnya antara 1 nm sampai 700 nm. Gelombang ini tidak banyak dihamburkan oleh partikel-partikel udara, sehingga tidak mudah dilihat manusia.

Manfaat sinar inframerah antara lain untuk sistem pengenalan. Contohnya, sebuah sensor sinar inframerah pancaran rendah diletakkan di belakang pegangan pintu mobil digunakan membaca bentuk pembuluh darah di dalam jari seseorang yang memegangnya. Selain itu, radiasi inframerah juga digunakan dalam bidang medis. Misalnya, pembentukan citra termal untuk mendiagnosis penyakit yang bersemayam pada kepala manusia.

Sinar inframerah dewasa ini banyak digunakan untuk transfer data. Misalnya, inframerah yang dipasang pada telepon genggam memungkinkan kita untuk mengirimkan suara, teks, atau gambar ke telepon genggam lain. Pengiriman data dengan inframerah ini tidak akan mengurangi jumlah pulsa.

### 4. Cahaya Tampak dan Laser

Dalam kehidupan keseharian, kita sering melihat cahaya yang beragam warnanya. Ada merah, biru, hijau, putih, atau lainnya. Ragam warna cahaya itulah yang dimaksud **sinar tampak** atau **cahaya tampak**.



Gambar 9.10 Penggunaan radiasi inframerah dalam bidang medis.

## Tips & Trik

Ada cara mudah untuk menghafalkan urutan spektrum cahaya tampak, yaitu menggunakan kata **mejikuhibiu**. Maksudnya, me (merah), ji (jingga), ku (kuning), hi (hijau), bi (biru), u (ungu).



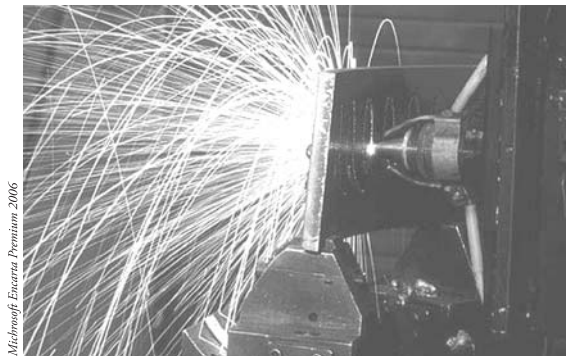
Gambar 9.11 Alat pembaca barcode menggunakan sinar laser

Cahaya putih merupakan cahaya polikromatik yang dapat terdispersi menjadi beberapa cahaya polikromatik.

Sinar tampak berada pada daerah  $10^{14}$ - $10^{15}$  Hz, sementara panjang gelombangnya berkisar 720 nm sampai 455 nm. Cahayanya dapat terlihat oleh mata telanjang dan terdiri dari beragam spektrum warna. Spektrum warna dari panjang gelombang terkecil ke terbesar adalah warna merah (622-720 nm), jingga (597-622 nm), kuning (577-597 nm), hijau (492-577 nm), biru (455-492 nm), dan ungu (390-455 nm).

Salah satu cahaya tampak yang penting adalah laser. **Laser** adalah singkatan dari *light amplification by stimulated emission of radiation* yaitu penguatan cahaya oleh rangsangan pancaran radiasi. Penggunaan sinar laser ada dalam beberapa bidang, misalnya kedokteran, pelayanan konsumen, industri, astronomi, fotografi, komunikasi, biologi dan pendidikan.

- Bidang kedokteran, misalnya untuk mendiagnosis penyakit, pengobatan penyakit, pembedahan, dan lain sebagainya.
- Pelayanan konsumen, misalnya identifikasi harga dan karakteristik suatu barang melalui label kode batang (*bar code*) yang disinari sinar laser.
- Bidang industri, antar lain untuk mengelas, pemotongan besi atau baja, dan pengeboran.



Gambar 9.12 Laser digunakan dalam pemotongan logam

- Bidang astronomi, yaitu untuk mengukur jarak antara bumi dan bulan.
- Fotografi, misalnya pembuatan bayangan tiga dimensi dari suatu benda (hologram) melalui proses holografi.
- Komunikasi, misalnya penguatan cahaya yang menyalurkan suara dan sinyal gambar lewat serat optik.
- Bidang biologi, contohnya pengukuran spektra-Brillouin yang dihubungkan dengan sifat-sifat molekul intrinsik.
- Bidang pendidikan, antara lain untuk mengetahui gerak Brown, pengukuran atom, mendeteksi putaran absolut bumi, mengetahui proses kimia suatu zat, mengetahui kerapatan plasma, dan untuk memisahkan isotop suatu unsur.

## 5. Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet berada pada daerah  $10^{15}$ - $10^{19}$  Hz. Berdasarkan frekuensi ini, sinar ultraviolet dapat digunakan untuk mengetahui unsur-unsur suatu bahan dengan teknik spektroskopi. Selain itu, sinar ini mempunyai daya pembunuh kuman, khususnya kuman penyakit kulit. Sumber utama dari sinar ultraviolet adalah matahari. Oleh karena itu, pada lapisan atmosfer bumi terdapat lapisan ozon ( $O_3$ ) yang berfungsi, menahan sinar ultraviolet sampai ke bumi. Peningkatan sinar ultraviolet di bumi akan mengakibatkan pemanasan global.

## 6. Sinar-X

Sinar ini ditemukan pada tahun 1895 oleh ilmuwan Jerman bernama **Wilhelm Conrad Rontgen** (1845-1923). Karena itu, sinar-X seringkali disebut **sinar Rontgen**. Gelombang Sinar-X berada pada daerah  $10^{16}$ - $10^{21}$  Hz. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan antara elektron yang berkecepatan tinggi yang diperlambat secara tiba-tiba saat menumbuk logam.

Dengan panjang gelombang yang pendek dan frekuensi yang tinggi, sinar-X memiliki daya tembus yang besar. Oleh karenanya, sinar ini dapat digunakan untuk memotret susunan organ-organ tubuh, misalnya saja tulang.

## 7. Sinar Gamma

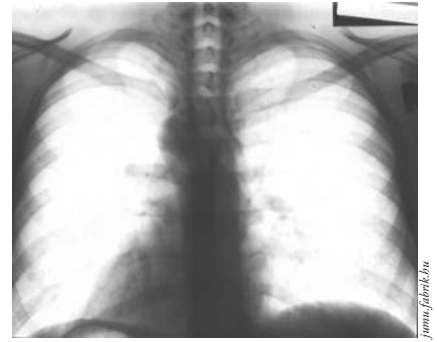
Sinar gamma berada pada daerah  $10^{18}$ - $10^{25}$  Hz. Sinar ini dihasilkan oleh inti-inti atom yang tidak stabil. Daya tembusnya sangat besar, sehingga mampu menembus plat besi yang mempunyai ketebalan beberapa centimeter. Radiasi sinar gamma dapat dideteksi dengan suatu alat yang bernama **detektor Geiger-Muller**.

Sinar gamma banyak digunakan dalam bidang kedokteran, misalnya untuk membunuh sel-sel kanker, sterilisasi alat-alat kedokteran, dan lain sebagainya. Selain itu, dapat pula digunakan pada proses rekayasa genetika dalam bidang pertanian, misalnya membuat bibit unggul suatu tanaman.

Selain manfaatnya, radiasi gelombang elektromagnetik juga berpotensi mengganggu kesehatan tubuh. Misalnya, sakit kepala, keletihan, jantung berdebar-debar, sulit tidur, gangguan konsentrasi, rasa mual, bahkan gangguan kejiwaan berupa depresi. Jadi, kita perlu mengetahui cara penggunaan gelombang elektromagnetik yang aman.

Kalian telah mengenal beberapa jenis gelombang elektromagnetik dan manfaatnya dalam kehidupan sehari-hari. Nah, agar pengetahuan kalian lebih luas, coba kalian lakukan diskusi untuk membahas beberapa persoalan pada *Eureka* berikut.

Berjemur di bawah terik matahari yang panas, apalagi tanpa pelindung kulit beresiko merusak kulit. Sinar ultraviolet yang berlebihan jika mengenai kulit secara langsung akan mengakibatkan merusak lapisan elastin kulit. Akibatnya, kulit bisa keriput dan kurang elastis, bahkan bisa menimbulkan kanker kulit. Kecuali, apabila kita berjemur di pagi hari dan tidak berlama-lama, justru akan membantu menghasilkan vitamin D yang akan memperkuat tulang dan sistem kekebalan tubuh.



**Gambar 9.13** Sinar-X digunakan untuk memotret bagian dalam tubuh manusia.

## Eureka

Dengan mencari dari pelbagai sumber, baik internet, surat kabar, majalah, atau dengan melakukan wawancara dengan nara sumber yang kompeten, diskusikan beberapa hal berikut.

1. Kita semua telah mengetahui bahwa telepon genggam merupakan salah satu alat yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Dengan menekan nomor tertentu, kita dapat berbicara dengan orang lain yang dituju tanpa takut suara kita akan tertangkap oleh hp lain. Bagaimanakah hal ini dilakukan oleh operator seluler?
2. Dewasa ini, sebagian besar stasiun radio memanfaatkan gelombang FM daripada gelombang AM. Adakah kelebihan gelombang FM dari gelombang AM? Jelaskan.
3. Inframerah sebagai media transfer data hanya dapat mengirim data dalam jarak dekat. Sekarang ada media lain yang lebih canggih yaitu *bluetooth*. Jelaskan cara kerja dan manfaat *bluetooth*.

Buatlah makalah singkat dari hasil diskusi kalian. Kumpulkan hasilnya kepada guru kalian.

Kalian telah mempelajari uraian materi dan melakukan pelbagai diskusi dan tugas. Untuk mengetahui sejauh mana kalian memahami materi di bab ini, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## Uji Kompetensi

**Kerjakan soal-soal berikut dengan benar.**

1. Jelaskan perbedaan pengertian dan cara kerja *amplitudo modulation (AM)* dan *frequency modulation (FM)*.
2. Gambarkan dan jelaskan dengan singkat proses yang terjadi pada stasiun pemancar dan pesawat penerima pada radio dan televisi.
3. Sebuah sinyal pantul diterima antena radar  $2,64 \mu\text{s}$  setelah pemancaran. Berapakah jarak benda tersebut dari radar?
4. Sebuah pesawat terbang berjarak 1.000 m dari pusat radar. Berapa waktu yang digunakan untuk memancarkan dan menerima kembali gelombang dari radar?
5. Sebutkan dan jelaskan beberapa jenis gelombang elektromagnetik dan kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari.

## Inti Sari

1. Cepat rambat gelombang elektromagnetik bergantung pada permitivitas vakum/ruang hampa udara  $\epsilon_0$  dan permeabilitas vakum  $\mu_0$ , yang dirumuskan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

2. Cepat rambat gelombang elektromagnetik sama dengan cepat rambat cahaya, yaitu  $2,998 \times 10^8$  m/s atau dibulatkan menjadi  $3 \times 10^8$  m/s.
3. Sifat-sifat gelombang elektromagnetik antara lain:
  - a. dapat merambat dengan atau tanpa zat perantara/medium,
  - b. termasuk gelombang transversal,
  - c. merambat dalam arus lurus,
  - d. dapat mengalami interferensi, difraksi, dan polarisasi,
  - e. dapat dipantulkan atau dibiaskan.
4. Berdasarkan panjang dan frekuensinya, gelombang elektromagnetik mempunyai spektrum dari frekuensi terkecil hingga frekuensi terbesar sebagai berikut.

- a. gelombang radio,
- b. gelombang televisi,
- c. gelombang mikro (radar),
- d. sinar inframerah,
- e. sinar tampak (cahaya),
- f. sinar ultraviolet,
- g. sinar-X,
- h. sinar gamma.

5. Hubungkan antara frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang elektromagnetik, diberikan dalam bentuk persamaan:

$$c = f\lambda$$

6. Gelombang radio dapat dipancarkan melalui dua cara, yakni *amplitudo modulation (AM)* dan *frequency modulation (FM)*.
7. Jarak pemancar dengan sasaran ( $d$ ) yang dikeluarkan oleh radar, dapat dihitung dengan rumus:

$$d = \frac{c\Delta t}{2}$$

## Telaah Istilah

**Frekuensi** Jumlah getaran gelombang setiap waktu

**Gelombang elektromagnetik** Gelombang yang terjadi karena adanya perubahan medan magnetik dan medan listrik yang saling tegak lurus serta keduanya tegak lurus pula dengan arah perambatannya

**Interferensi** Perpaduan dua gelombang atau lebih menjadi satu gelombang baru

**Medan listrik** Ruangan di sekitar muatan listrik atau benda bermuatan listrik yang masih terpengaruh gaya listrik

**Medan magnet** Ruangan di sekitar magnet yang masih terpengaruh gaya magnet

**Permeabilitas** Kemampuan meloloskan partikel dengan menembus suatu ruangan

**Permitivitas** Kemampuan suatu bahan untuk menerima fluks listrik

**Radiologi** Ilmu pengobatan yang menggunakan sinar-X atau radioaktif untuk mengetahui jenis penyakit

**Spektrum** Jangkauan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau diserap oleh bahan dalam keadaan khusus

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

1. Gelombang elektromagnetik terjadi apabila . . . .
  - a. medan magnet dan medan listrik saling tegak lurus
  - b. medan magnet dan medan listrik saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus pula dengan arah perambatan
  - c. medan magnet tegak lurus dengan arah perambatan
  - d. medan listrik tegak lurus dengan arah perambatan
  - e. medan magnet dan medan listrik saling tegak lurus, namun dengan arah perambatannya sejajar
2. Cepat rambat gelombang elektromagnetik tergantung pada . . . .
  - a. frekuensi dan panjang gelombang
  - b. permitivitas dan frekuensi gelombang
  - c. permeabilitas dan permitivitas
  - d. panjang gelombang dan medium
  - e. medium, frekuensi, dan panjang gelombang
3. Pernyataan yang tidak benar tentang gelombang elektromagnetik yaitu . . . .
  - a. dapat merambat tanpa zat perantara
  - b. dapat merambat melalui media yang tidak terlihat
  - c. kecepatan gelombang elektromagnetik adalah  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
  - d. kecepatan gelombang elektromagnetik tidak sama dengan kecepatan cahaya
  - e. kecepatan gelombang elektromagnetik  $= 2,998 \times 10^8 \text{ km/s}$
4. Perubahan medan listrik akan menimbulkan medan magnet. Pernyataan ini merupakan hipotesis yang dikemukakan oleh . . . .
  - a. Hertz
  - b. Maxwell
  - c. Rontgen
  - d. Faraday
  - e. Coulomb
5. Jenis gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang paling pendek adalah . . . .
  - a. radio gelombang pendek
  - b. sinar infra merah
  - c. sinar gamma
  - d. sinar ultra ungu
  - e. sinar-X
6. Jenis gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi paling pendek adalah . . . .
  - a. radio gelombang panjang
  - b. radio gelombang pendek
  - c. sinar gamma
  - d. cahaya tampak
  - e. radar
7. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik yang benar untuk variasi dari frekuensi terkecil adalah . . . .
  - a. cahaya biru, cahaya hijau, sinar infra merah, gelombang radar
  - b. cahaya hijau, cahaya biru, sinar-X, sinar gamma
  - c. sinar infra merah, sinar ultraviolet, cahaya hijau, cahaya biru
  - d. gelombang radar, cahaya hijau, cahaya biru, gelombang radio
  - e. sinar-X, sinar gamma, cahaya biru, cahaya hijau



8. Di bawah ini yang merupakan daerah frekuensi untuk saluran televisi adalah . . . .
  - a. LF
  - b. MF
  - c. HF
  - d. UHF
  - e. 3 MHz – 30 MHz
9. Salah satu karakteristik pemancar FM adalah . . . .
  - a. terjadi peristiwa kelistrikan pada lapisan ionosfer
  - b. dipantulkan lapisan ionosfer
  - c. suara yang dihasilkan jernih
  - d. tidak perlu menggunakan satelit
  - e. jangkauan pemancarannya panjang
10. Pernyataan berikut adalah benar, **kecuali** . . . .
  - a. Sifat gelombang pada daerah frekuensi  $10^4$ - $10^7$  Hz dipantulkan oleh ionosfer dalam lapisan atmosfer
  - b. Informasi yang dibawa oleh gelombang pada daerah frekuensi  $10^4$ - $10^7$  Hz sebagai perubahan amplitudo
  - c. Gelombang elektromagnetik pada daerah frekuensi  $10^8$  Hz mampu menembus lapisan ionosfer
  - d. Informasi yang dibawa oleh gelombang yang berada pada daerah frekuensi  $10^4$ - $10^7$  Hz sebagai perubahan frekuensi
  - e. Gelombang AM tidak mampu menembus lapisan ionosfer.
11. Orang yang pertama kali menemukan sinar-X adalah . . . .
  - a. Wilhelm Conrad Rontgen
  - b. Geiger-Muller
  - c. Thomas Alfa Edison
  - d. William Herschel
  - e. Einstein
12. Pernyataan yang terkait dengan sinar gamma adalah . . . .
  - a. frekuensinya kecil
  - b. tidak dapat dideteksi dengan detektor
  - c. daya tembusnya kecil
  - d. dihasilkan oleh inti-inti atom yang stabil
  - e. panjang gelombangnya besar
13. Gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam rekayasa genetika adalah . . . .
  - a. sinar-X
  - b. sinar tampak
  - c. sinar inframerah
  - d. sinar ultraviolet
  - e. sinar gamma
14. Manfaat lapisan ozon adalah . . . .
  - a. memantulkan gelombang radio
  - b. melindungi bumi dari sinar inframerah
  - c. melindungi bumi dari sinar ultraviolet
  - d. membuat langit tampak biru
  - e. penghasil sinar ultraviolet
15. Sebuah pemancar mengirimkan gelombang dengan frekuensi 300 MHz ke sebuah pesawat. Setelah 0,01 detik gelombang tersebut diterima kembali oleh radar. Panjang gelombang dan jarak pemancar dengan pesawat berturut-turut adalah . . . .
  - a. 0,1 m dan  $1,5 \times 10^6$  m
  - b. 1 m dan  $1,5 \times 10^6$  m
  - c. 10 m dan  $1,5 \times 10^6$  m
  - d. 1 m dan  $3 \times 10^6$  m
  - e. 10 m dan  $3 \times 10^6$  m

#### B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

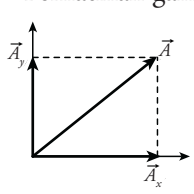
1. Apa yang dimaksud dengan gelombang elektromagnetik?
2. Jika permitivitas dalam suatu medium  $9 \times 10^{-12}$  C/N m<sup>2</sup> dan permeabilitasnya  $5\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am, hitunglah kecepatan cahaya yang merambat di dalam medium tersebut.
3. Hitunglah panjang gelombang elektromagnetik dari ponsel yang mempunyai frekuensi 1.800 MHz.



4. Jelaskan ragam dan karakteristik spektrum gelombang elektromagnetik. Kemudian, berikan contoh penggunaannya.
5. Jelaskan pembagian gelombang radio berdasarkan panjang gelombang beserta penggunaannya.
6. Mengapa gelombang radio FM lebih diminati dari pada gelombang radio AM?
7. Apa dampak positif dan negatif dari gelombang elektromagnetik ?
8. Guna mengetahui kedalaman laut yang tenang, sebuah kapal laut memancarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 10 MHz ke dasar laut. Gelombang tersebut diterima kembali setelah 0,02 detik. Jika permitivitas air laut  $9 \times 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$  dan permeabilitasnya  $5\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ . Hitunglah panjang gelombang dan kedalaman lautnya?
9. Apa yang dimaksud dengan laser? Sebutkan contoh penggunaannya.
10. Sebutkan dampak positif dan negatif sinar ultraviolet yang dipancarkan matahari.

# Latihan Ulangan Kenaikan Kelas

## A Pilihlah jawaban yang benar.

- Kelompok besaran di bawah ini yang termasuk besaran pokok adalah . . . .
  - kuat arus, suhu, massa, gaya, dan kecepatan
  - suhu, massa, volume, berat, dan kelajuan
  - suhu, massa, panjang, kuat arus, dan jumlah mol
  - usaha, panjang, momentum, jumlah mol, dan percepatan
  - kecepatan, suhu, momentum, panjang, dan suhu
- Seorang siswa sedang mengukur volume alkohol menggunakan gelas ukur. Dari hasil pengukuran didapatkan volume alkohol adalah  $20,0 \text{ cm}^3$ . Kemudian siswa menimbang gelas ukur berisi alkohol tersebut menggunakan neraca dan menunjukkan angka  $66,03 \text{ gram}$ . Jika massa gelas ukur  $50,03 \text{ gram}$ , dengan menggunakan aturan angka penting, massa jenis alkohol adalah . . .  $\text{kg/m}^3$ .
  - $0,800 \times 10^3$
  - $0,80 \times 10^3$
  - $0,8 \times 10^3$
  - $0,800$
  - $0,80$
- Perhatikan gambar vektor berikut.
 

$\vec{A}_x$  merupakan komponen vektor  $\vec{A}$  yang searah sumbu  $x$  dan  $\vec{A}_y$  merupakan komponen vektor  $\vec{A}$  yang searah sumbu  $y$ . Bila besar  $A_x = 40$  satuan dan besar  $A$  adalah 50 satuan, maka besar  $A_y$  adalah . . . satuan.

  - 60
  - 50
  - 40
  - 30
  - 20
- Vektor A dan B masing-masing besarnya 3 m dan saling tegak lurus satu sama lain. Besar resultan kedua vektor tersebut adalah . . . m.

- 0
  - $\sqrt{6}$
  - 3
  - $3\sqrt{2}$
  - 6
- Pernyataan berikut yang benar adalah . . . .
    - dimensi kecepatan adalah  $[\text{L}]^2 [\text{T}]$
    - dimensi gaya adalah  $[\text{M}][\text{L}][\text{T}]$
    - dimensi percepatan adalah  $[\text{L}][\text{T}]^{-2}$
    - dimensi perpindahan adalah  $[\text{M}][\text{L}]^{-2}$
    - dimensi energi kinetik adalah  $[\text{M}][\text{L}][\text{T}]^{-1}$
  - Seorang pembalap F-1 mengendarai mobilnya dengan kelajuan  $180 \text{ km/jam}$ . Jika dinyatakan dalam  $\text{m/s}$ , kelajuan mobil tersebut adalah . . .  $\text{m/s}$ .
    - 50
    - 30
    - 10
    - 5
    - 3
  - Buah apel yang masak jatuh dari pohonnya pada ketinggian 5 m. Waktu yang diperlukan apel untuk sampai tanah adalah . . . sekon.
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
  - Sebuah bus kecepatannya berubah dengan teratur dari  $10 \text{ km/jam}$  menjadi  $50 \text{ km/jam}$  dalam waktu 1 menit. Kecepatan rata-rata bus tersebut adalah . . .  $\text{km/jam}$ .
    - 50
    - 40
    - 30
    - 20
    - 10
  - Seseorang dengan massa  $m$  bergerak melingkar dengan jari-jari lintasan  $R$ . Percepatan sentripetal yang dialami orang tersebut adalah . . . .
    - $\frac{v^2}{R}$
    - $\frac{v}{R}$
    - $m \frac{v^2}{R}$
    - $m \frac{v}{R}$
    - $\frac{v^2}{R^2}$

10. Sebuah bola besi diputar secara horizontal dengan menggunakan tali. Jika putaran bola dipercepat hingga laju putarannya menjadi 3 kali semula, maka gaya sentripetalnya berubah menjadi . . . kali semula.
- 3
  - 5
  - 6
  - 9
  - 12
11. Baling-baling helikopter berputar 600 rpm (radian per menit). Kecepatan sudut baling-baling tersebut adalah . . . rad/s.
- 10
  - $10\pi$
  - $60\pi$
  - 120
  - $120\pi$
12. Besaran yang dapat memberikan percepatan pada sebuah benda, sehingga berubah posisinya adalah . . .
- kecepatan
  - perlajuan
  - gaya
  - usaha
  - kerja
13. Pernyataan berikut yang benar tentang gaya adalah . . .
- $[M]^2 [T]^2$  merupakan dimensi gaya
  - gaya merupakan hasil kali massa dan kecepatan
  - arah gaya gesek searah dengan arah gerak benda
  - gaya berat dan gaya normal saling meniadakan
  - gaya aksi dan reaksi bekerja pada benda yang berbeda
14. Seekor ikan ketika ditimbang di dalam lift yang diam, beratnya  $m$ . Ketika lift bergerak, beratnya berkurang  $\frac{1}{8}$  kali berat semula. Ini berarti lift bergerak dengan percepatan . . . (gunakan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- $1,25 \text{ m/s}^2$  ke atas
  - $1,25 \text{ m/s}^2$  ke bawah
  - $1,15 \text{ m/s}^2$  ke atas
  - $1,15 \text{ m/s}^2$  ke bawah
  - $1,00 \text{ m/s}^2$  ke atas
15. Sebuah benda bermassa 10 kg bergerak di bawah pengaruh gaya 20 N yang searah gerak benda. Jika semula benda bergerak dengan kecepatan 5 m/s, maka kecepatan benda setelah 2 sekon adalah . . . m/s.
- 9
  - 7
  - 6
  - 4
  - 1
16. Salah satu sifat pada cermin datar adalah . . .
- tinggi bayangan = tinggi benda
  - tinggi bayangan < tinggi benda
  - tinggi bayangan > tinggi benda
  - sinar datang < sinar pantul
  - jarak bayangan > jarak benda
17. Seorang anak mempunyai tinggi 140 cm. Agar tubuhnya dapat terlihat semua, maka tinggi cermin yang dibutuhkan adalah . . .
- 140 cm
  - 120 cm
  - 95 cm
  - 78 cm
  - 70 cm
18. Sifat-sifat pada cermin konkaf yang benar adalah . . .
- sinar datang sejajar sumbu utama dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus
  - titik fokusnya bertanda positif
  - bersifat menyebarkan sinar
  - bayangan yang terbentuk selalu bayangan maya
  - merupakan cermin divergen
19. Sebuah mobil-mobilan sepanjang 20 cm diletakkan 50 cm di depan cermin cembung yang mempunyai titik fokus 25 cm. Panjang bayangan mobil-mobilan tersebut adalah . . .
- 1 cm
  - 2 cm
  - 3 cm
  - 4 cm
  - tetap
20. Seberkas sinar sejajar jatuh pada sebuah lensa cekung. Maka sinar tersebut akan mengalami . . .
- pembiasan dan menyatu
  - pembiasan dan menyebar
  - pemantulan dan menyatu
  - pemantulan dan menyebar
  - dipantulkan kembali

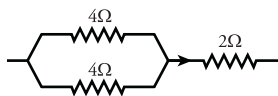
21. Sebatang rumput dengan tinggi  $h$  berada di depan lensa cembung dengan jarak fokus 10 cm. Agar bayangan rumput tersebut diperbesar 2 kali, maka rumput harus diletakkan pada jarak . . . cm di depan lensa.
- 25
  - 20
  - 15
  - 10
  - 5
22. Seorang siswa hanya dapat melihat benda terjauh pada jarak 100 meter di depan mata. Siswa tersebut membutuhkan bantuan kacamata dengan daya . . . dioptri.
- 0,3
  - 0,5
  - 3
  - 1
  - 3
23. Seorang penderita rabun dekat dapat melihat benda dengan jelas pada jarak terdekat 1 m. Agar dapat melihat benda yang terletak 0,3 m dengan mata berakomodasi maksimum, penderita tersebut memerlukan lensa kaca mata dengan daya . . . dioptri.
- 2,5
  - 2,5
  - 2,4
  - 2,4
  - 2,3
24. Seorang siswa menggunakan lup dengan jari-jari kelengkungan 20 cm untuk melihat benda kecil yang berjarak 10 cm dari lup. Benda tersebut akan tampak menjadi . . . kali lebih besar.
- 10
  - 7,5
  - 5
  - 2,5
  - 1,5
25. Banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  tiap 1 kg zat, disebut . . .
- kalor
  - kalor jenis
  - kapasitas kalor
  - kalor laten
  - kalor penguapan
26. Faktor yang memengaruhi kalor jenis benda adalah . . .
- kenaikkan temperatur benda
  - jumlah kalor yang diserap
  - massa benda
  - suhu akhir
  - suhu awal benda
27. Sebongkah es sebanyak 0,1 hg pada suhu  $273\text{ K}$  diberi kalor sebanyak 1 kkal. Jika es mencair dan diketahui kalor jenis es  $0,5\text{ kal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , kalor lebur es  $80\text{ kal g}^{-1}$ , maka air yang terjadi mempunyai temperatur . . . K.
- 273
  - 283
  - 293
  - 303
  - 373
28. Sebuah cairan dengan suhu  $10^{\circ}\text{C}$  di bawah nol, diberi kalor sebanyak 370 kal. Akibatnya, suhunya menjadi  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika kalor lebur zat tersebut adalah  $80\text{ kal/g}$ , maka massanya adalah . . . kg.
- $4,5 \times 10^{-4}$
  - $5,8 \times 10^{-4}$
  - $6,0 \times 10^{-4}$
  - $7,5 \times 10^{-4}$
  - $8,0 \times 10^{-4}$
29. Sebuah termometer buatan seorang siswa mempunyai spesifikasi, titik beku air pada skala  $20^{\circ}$  dan titik didih air pada skala  $120^{\circ}$ . Jika suatu benda suhunya  $60^{\circ}\text{C}$ , maka bila diukur dengan termometer tersebut akan menunjukkan . . .
- $100^{\circ}$
  - $80^{\circ}$
  - $60^{\circ}$
  - $40^{\circ}$
  - $20^{\circ}$
30. Suatu alat pemanas air dengan hambatan  $5\ \Omega$ , digunakan untuk memanaskan air  $0^{\circ}\text{C}$  sebanyak  $1\text{ dm}^3$ . Pemanas tersebut mampu mengubah 70% energi listrik menjadi energi kalor. Jika pemanas dihubungkan dengan sumber listrik 50 volt, maka waktu yang diperlukan untuk memanaskan air tersebut, sehingga suhunya naik  $50^{\circ}\text{C}$  adalah . . . sekon
- 300
  - 600
  - 900
  - 1.200
  - 1.500
31. Banyaknya muatan yang mengalir tiap satuan waktu disebut . . .
- arus
  - kuat arus
  - tegangan
  - daya
  - hambatan

32. Pernyataan tentang hambatan penghantar yang **tidak** benar adalah . . .
- satuan nya ohm
  - semakin tinggi suhunya, hambatannya semakin besar
  - alat ukurnya adalah ohmmeter
  - semakin kecil luas penampang penghantar, semakin besar hambatannya
  - semakin pendek penghantar, hambatannya semakin kecil

33. Alat yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan, kuat arus, dan hambatan adalah . . .
- amperemeter
  - ohmmeter
  - voltmeter
  - multimeter
  - galvanometer

34. Sebuah kabel dari kawat tembaga mempunyai hambatan sebesar  $R \Omega$ . Jika panjang kawat di pendekkan menjadi  $\frac{1}{4}$  kali panjang semula, maka hambatannya menjadi . . .  $\Omega$ .
- $8 R$
  - $4 R$
  - $2 R$
  - $0,5 R$
  - $0,25 R$

35. Tiga buah bohlam dengan hambatan  $4 \Omega$ ,  $2 \Omega$ , dan  $4 \Omega$  disusun seperti gambar di bawah. Jika arus yang mengalir dalam rangkaian adalah  $2 A$ , maka beda potensial yang mengalir dalam rangkaian adalah . . . V.



- 16
- 8
- 4
- 2
- 1

36. Dua buah alat pemanas A dan B mempunyai hambatan  $R_A$  dan  $R_B$ . Jika pemanas A digunakan untuk mendidihkan 1 liter air membutuhkan waktu 20 menit. Sedangkan pemanas B membutuhkan waktu 25 menit. Jika kedua pemanas dihubungkan seri, maka untuk mendidihkan 1 liter air membutuhkan waktu . . . menit.
- 5
  - 15
  - 30
  - 45
  - 55

37. Sebuah stasiun radio amatir ditangkap pada gelombang 120 MHz. Panjang gelombang radio tersebut adalah . . . meter.
- 5,5
  - 4,5
  - 3,5
  - 2,5
  - 1,5

38. Yang termasuk gelombang mikro adalah . . .
- radio FM
  - televisi
  - komunikasi pesawat
  - komunikasi satelit
  - telepon

39. Yang **bukan** merupakan sifat gelombang elektromagnetik adalah . . .
- dapat merambat dengan atau tanpa zat perantara/medium
  - merambat lurus
  - tidak dapat dibelokkan
  - dapat mengalami interferensi, difraksi, dan polarisasi
  - dapat dipantulkan atau dibiaskan

40. Spektrum gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi terkecil adalah . . .
- gelombang radio
  - sinar inframerah
  - sinar tampak
  - sinar-X
  - sinar gamma

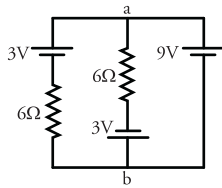
## B Jawablah soal-soal berikut dengan benar.

- Dengan menggunakan aturan angka penting, tentukan:
  - Massa jenis benda jika massanya 3,25 kg dan volumenya 2,0 liter.
  - Massa 4 buah apel jika massa sebuah apel 250,00 kg.
  - Kecepatan benda jika bergerak selama 2,20 sekon dan menempuh jarak 11,100 meter.
  - Hambatan penghantar yang dihubungkan dengan beda potensial 11,95 jika arus yang mengalir 0,5 ampere.

2. Diketahui besar vektor  $A = 20$  cm dan vektor  $B = 30$  cm. Gambarkan dan tentukan dengan metode jajargenjang dan analitis resultan kedua vektor jika:
  - a. kedua vektor membentuk sudut  $30^\circ$
  - b. kedua vektor saling tegak lurus
  - c. kedua vektor saling berlawanan arah
3. Mobil A dan mobil B sedang bergerak berlawanan pada jalan lurus. Kedua mobil tersebut terpisah pada jarak 1 km. Jika mobil A bergerak dengan kecepatan 20 m/s ke barat, dan mobil B bergerak dengan kecepatan 25 m/s ke timur, kapankah kedua mobil berpapasan?
4. Sebutkan 5 contoh alat-alat optik. Jelaskan pula prinsip kerja alat setiap alat optik tersebut.
5. Kenny Roberts Jr. mengendarai motornya melewati lintasan tikungan yang berjari 50 m. Tentukan laju maksimum sepeda motor tersebut agar tidak tergelincir keluar lintasan.
6. Benda dengan tinggi 10 cm berada pada jarak 30 cm di depan lensa cembung dengan jarak fokus 20 cm.
  - a. Gambarkan bayangan yang terbentuk.
  - b. Tentukan letak bayangan.
  - c. Tentukan tinggi bayangan.
7. Seorang siswa sedang mengamati irisan jaringan sel kulit menggunakan mikroskop yang diletakkan 2 cm dari lensa obyektif. Mikroskop tersebut menggunakan lensa obyektif dengan jarak fokus 1,8 cm dan lensa okuler dengan jarak fokus 6 D. Menurut pengamatan siswa tersebut yang ternyata mempunyai titik dekat 30 cm, irisan jaringan mempunyai panjang 2,5 cm. Tentukan:
  - a. Perbesaran bayangan jika mata berakomodasi maksimum.
  - b. Perbesaran bayangan jika mata tidak berakomodasi maksimum.
  - c. Panjang irisan jaringan sesungguhnya.
8. Suatu plat tembaga mempunyai luas  $40 \text{ cm}^2$  dan suhunya  $30^\circ\text{C}$ . Kemudian dipanaskan hingga suhunya  $100^\circ\text{C}$ . Jika koefisien panjang tembaga  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}$ , hitunglah luas plat tembaga setelah dipanaskan.
9. Sebuah ketel tembaga ditempatkan di atas api kompor gas. Luas dasar ketel itu  $180 \text{ cm}^2$  dan tebalnya 1,5 mm. Di dalam ketel terdapat air yang sedang mendidih pada  $100^\circ\text{C}$  dan suhu permukaan luar ketel adalah 1500. Bila konduktivitas termal tembaga  $0,918 \text{ kal/cm s } ^\circ\text{C}$ , berapa banyaknya kalor yang dipindahkan tiap menit melalui dasar ketel?
10. Doni mempunyai tiga buah resistor, masing-masing  $2\Omega$ ,  $4\Omega$ , dan  $5\Omega$ . Tentukan hambatan total dari ketiga resistor tersebut, jika:
  - a. disusun seri,
  - b. disusun paralel.
11. Sebuah rumah menggunakan beberapa peralatan listrik. Pemakaian rata-rata setiap hari adalah sebagai berikut.
  - a. Televisi 14 inchi dengan daya 350 W dinyalakan 6 jam sehari.
  - b. 3 buah lampu TL 20 W dinyalakan 5 jam sehari.
  - c. Lemari es 350 W menyala setiap saat.
  - d. Setrika listrik dipakai 3 jam setiap minggu.
  - e. Komputer 400 W dinyalakan 3 jam setiap hari.
  - f. 5 buah lampu 5 W dinyalakan 8 jam setiap hari.
  - g. 1 buah kipas angin dipakai 3 jam setiap hari.

Berdasarkan data pemakaian listrik tersebut, hitunglah energi listrik yang dipakai setiap bulan (anggaplah 1 bulan = 30 hari). Jika biaya tiap kWh adalah Rp 275,00, hitunglah biaya yang harus dibayarkan pada bulan tersebut.

12. Tentukan besar tegangan  $ab$  dari rangkaian berikut.



13. Untuk mengetahui kedalaman laut yang tenang, sebuah kapal laut memancarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 10 MHz ke dasar laut. Gelombang terse-

but diterima kembali setelah 0,02 sekon. Jika permitivitas dalam air laut  $9 \times 10^{-12} \text{ C/Nm}^2$  dan permeabilitasnya  $= 5\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ , hitunglah panjang gelombang dan kedalaman lautnya.

14. Sebutkan sifat-sifat gelombang elektromagnetik.
15. Sebutkan macam-macam gelombang radio beserta frekuensinya.

# Kunci Jawaban

## Ulangan Harian Bab I

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

1. C      5. A      9. A      13. C  
3. D      7. C      11. D      15. D

### B Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

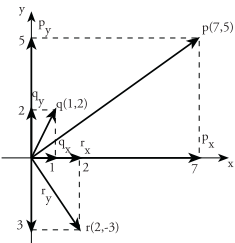
1. **Besaran pokok** adalah besaran yang berdiri sendiri dan satuannya tidak tergantung pada satuan besaran yang lain. **Besaran turunan** adalah besaran yang tersusun dari beberapa besaran pokok.
3. Daya =  $[M] [L]^2 [T]^{-3}$   
Muatan listrik =  $[Q] [T]^{-1}$   
Viskositas =  $[M] [L]^{-1} [T]^{-4}$   
Medan listrik =  $[M] [L] [T]^{-2} [Q]^{-1}$
5. a.  $1 \text{ km} = 10 \text{ hm} = 10^2 \text{ dam} = 10^3 \text{ m} = 10^4 \text{ dm} = 10^5 \text{ cm} = 10^6 \text{ mm} = 10^9 \text{ }\mu\text{m}$   
b.  $1 \text{ F} = 10^{-6} \text{ }\mu\text{F} = 10^{-12} \text{ }\mu\text{F}$   
c.  $1 \text{ kA} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \text{ }\mu\text{A}$   
d.  $1 \text{ km/jam} = 1000 \text{ m/jam} = \frac{5}{18} \text{ m/s}$   
e.  $1 \text{ cm}^2 = 10^{-12} \text{ dm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 = 10^{-10} \text{ km}^2$   
f.  $1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ mm}^3$
7.  $[M] [T]^{-2}$
9. a.  $64 \text{ cm}^2$       d.  $7,8 \text{ cm}$   
b.  $4,2 \text{ dm}^3$       e.  $40 \text{ }\Omega$   
c.  $86,21 \text{ cm}$       f.  $1,807 \times 10^{24} \text{ partikel}$

## Ulangan Harian Bab II

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

1. C      5. A      9. C      13. A  
3. B      7. D      11. B      15. D

### B Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1.  $|\vec{s}| = 26,32 \text{ m}$
3. a.  b.  $\vec{R} = 10\hat{i} + 3\hat{j}$   
 $|\vec{R}| = \sqrt{109}$

5.  $v = 7,5\sqrt{2}\hat{i} + 7,5\sqrt{2}\hat{j}$   
7.  $\theta = 60^\circ$   
9. Perpindahannya sama besar karena posisi akhir dan posisi awal sama.

## Latihan Ulangan Tengah Semester I

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

1. C      9. E      17. A  
3. C      11. D      19. E  
5. C      13. C  
7. D      15. C

### B Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

No	Besaran	Lambang	Satuan	Dimensi
1.	Panjang	$l$	m	$[L]$
2.	Massa	$m$	kg	$[M]$
3.	Kuat arus	$i$	A	$[Q]$
4.	Waktu	$t$	s	$[T]$
5.	Suhu	$T$	K	$[I]$
6.	Jumlah mol zat	$N$	mol	$[N]$
7.	Intensitas cahaya	$J$	Cd	$[J]$

3. a.  $1,49 \times 10^{11} \text{ m}$   
b.  $6,023 \times 10^{23} \text{ mol/gram}$   
c.  $1,01 \times 10^3 \text{ Ns/m}^2$   
d.  $1,6 \times 10^{-4} \text{ s}$
5.  $I = (2,6 \pm 0,4) \text{ A}$
7.  $\vec{r} = (0,5\hat{i} + 0,4\hat{j} + 0,6\hat{k}) \text{ m}$   
 $|\vec{r}| = 0,71 \text{ m}$
9. a.  $-\hat{j}$   
b.  $-5\hat{i} - 8\hat{j}$   
c.  $3\hat{i} - 3\hat{j}$

## Ulangan Harian Bab III

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

1. D      5. D      9. D      13. E  
3. C      7. C      11. D      15. B



**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Perpindahan = 0, jarak tempuh = 160 m
3.  $V_{\text{rata-rata}} = 16,67 \text{ m/s}$   
 $V_{\text{sesaat}} = 8 \text{ m/s}$
5.  $V_{\text{rata-rata}} = 15,6 \text{ m/s}$
7. Bisa, karena  $t_{\text{rossi}} = 30 \text{ s}$ ,  $t_{\text{gib}} = 36,25 \text{ s}$
9. a.  $4 + 2\sqrt{2} \text{ s}$   
b. 40 m  
c.  $20\sqrt{2} \text{ m/s}$

● **Ulangan Harian Bab IV**

**A.** Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |      |       |       |
|------|------|-------|-------|
| 1. A | 5. D | 9. D  | 13. E |
| 3. B | 7. A | 11. B | 15. C |

**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. a. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali putaran.  
b. Frekuensi adalah jumlah putaran yang dilakukan dalam satu sekon.
3. Karena dengan sedikit mengayuh pedal maka gir belakang akan menghasilkan putaran yang lebih banyak. Bila dibalik, maka diperlukan usaha yang lebih besar untuk mengayuh pedal.
5.  $v = 1,08 \times 10^8 \text{ km/jam}$   
 $\omega = 7,2 \times 10^{-4} \text{ rad/jam}$
7. a.  $1,6 \times 10^{-4} \text{ s}$   
b.  $4 \times 10^4 \text{ rad/s}$   
c.  $8 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$
9. a. B searah putaran jarum jam  
C searah putaran jarum jam  
D berlawanan arah putaran jarum jam  
b.  $v_B = 6\pi \times 10^{-2} \text{ m/s}$  dan  $\omega_B = \frac{3}{2} \text{ rad/s}$   
c.  $N_A = 9$ ;  $N_B = N_C = 45$ ,  $N_D = 28$

● **Ulangan Harian Bab V**

**A.** Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. D | 9. E  | 17. B |
| 3. A | 11. C | 19. D |
| 5. B | 13. B |       |
| 7. C | 15. E |       |

**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Karena pada sistem berlaku Hukum-hukum Newton.
3. 6,36 m/s
5. a.  $f = 280 \text{ N}$   
b.  $t = 13,45 \text{ s}$
7. a.  $\omega = 7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$   
 $v = 479,6 \text{ m/s}$   
b.  $a_s = 0,35 \text{ m/s}^2$   
c.  $F = 350 \text{ N}$
9. 4,2 m/s

● **Latihan Ulangan Akhir Semester I**

**A.** Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. E | 11. C | 21. D | 31. E |
| 3. D | 13. A | 23. C | 33. D |
| 5. C | 15. A | 25. B | 35. E |
| 7. E | 17. B | 27. A | 37. D |
| 9. E | 19. D | 29. E | 39. A |

**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1.  $[M] [T]^{-2}$
3. a.  $20 \text{ cm}^2$   
b.  $6,4 \text{ dm}^3$   
c.  $382 \text{ cm}^2$   
d.  $10,0 \text{ cm}$
5. 43,07 cm
7. 3375 m
9. 1 : 2
11. a. 250 N  
b. 250 N  
c. 275 N  
d. 225 N
13. Gaya gesek yang menguntungkan: gesekan kaki dengan jalan, ban kendaraan dengan jalan.  
Gaya gesek yang merugikan: gesekan bagian mesin kendaraan, gesekan kendaraan dengan udara.
15.  $50\sqrt{3} - \frac{2}{5}$

## ● Ulangan Harian Bab VI

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |      |       |       |
|------|------|-------|-------|
| 1. A | 5. D | 9. A  | 13. C |
| 3. C | 7. E | 11. B | 15. A |

### B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

- a. Sinar datang, garis normal dan sinar bias terletak dalam satu bidang datar.  
b. Perbandingan sinus sudut datang dan sinus sudut bias pada dua medium berbeda merupakan bilangan tetap.
- $90^\circ$
- $-\frac{12}{7}$
- $6\frac{11}{75}$
- a. 0,4 kali  
b. 1,67 kali  
c. 59 cm  
d. 36 cm

## ● Ulangan Harian Bab VII

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. B | 7. B  | 13. D | 19. A |
| 3. C | 9. A  | 15. A |       |
| 5. B | 11. D | 17. C |       |

### B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

- $40^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F} = 32^\circ\text{R} = 313^\circ\text{K}$
- Karena panas, baterai memuai
- $3,82 \times 10^5 \text{ J}$
- $3,01 \times 10^{-3} \text{ J/K}$
- 3 : 20

## ● Latihan Ulangan Tengah Semester II

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. C | 9. A  | 15. A |
| 3. A | 11. C | 17. B |
| 5. A | 13. B | 19. D |
| 7. D |       |       |

### B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

- a.  $s' = 12 \text{ cm}$   
b.  $s' = -2,4 \text{ cm}$   
 $h' = 8 \text{ cm}$   
 $h' = 1,6 \text{ cm}$
- a.  $s' = -100 \text{ cm}$ , sifat bayangan = maya, tegak, dan diperbesar  
b.  $M = 5$  kali
- a. 29 kali  
b. 25 kali
- a.  $51,29 \text{ cm}^3$   
b.  $51,294 \text{ cm}^3$
- 30,23 kkal

## ● Ulangan Harian Bab VIII

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |      |       |       |
|------|------|-------|-------|
| 1. C | 5. C | 9. E  | 13. A |
| 3. D | 7. C | 11. C | 15. C |

### B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

- a. Amperemeter: dirangkai seri dengan komponen listrik.  
b. Voltmeter: dirangkai paralel dengan komponen listrik.  
c. Ohmmeter: dirangkai paralel dengan hambatan listrik.  
d. AVOMeter: gabungan antara amperemeter, voltmeter, dan ohmmeter (tergantung jenis komponen listrik).
- $4,17 \Omega$
- a. 1 V  
b.  $4 \Omega$
- 12,8 W
- Energi listrik =  $3,762 \times 10^2 \text{ kWh}$   
Biaya = Rp 103.455,00

## ● Ulangan Harian Bab IX

### A Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |      |       |       |
|------|------|-------|-------|
| 1. B | 5. C | 9. C  | 13. E |
| 3. E | 7. B | 11. A | 15. B |

**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Gelombang elektromagnet adalah gelombang yang terjadi karena adanya perubahan medan magnet dan medan listrik yang saling tegak lurus serta keduanya tegak lurus pula dengan arah perambatannya. Gelombang elektromagnet tidak memerlukan medium untuk merambat.
3.  $1,67 \times 10^{-2} \text{ m}$
- 5.

Panjang gelombang	Penggunaan
Long wave (LW) 1500 m	• radio gelombang panjang • komunikasi jarak jauh
Medium wave (MW) 300 m	• radio gelombang medium • komunikasi jarak jauh
Short wave (SW) 30 m	• radio gelombang pendek • komunikasi radio amatir
Very Short wave 3 m	• radio FM • radio mobil polisi • komunikasi pesawat udara
Ultra Short wave 30 cm	• komunikasi jarak pendek • televisi
Microwave s 3 cm	• komunikasi satelit • radar • saluran televisi • telepon

7. **Dampak positif:** dapat dimanfaatkan dalam pelbagai bidang kehidupan (kesehatan, komunikasi).  
**Dampak negatif:** beberapa jenis gelombang elektromagnetik merupakan sumber radiasi yang membahayakan bagi manusia, misalnya sinar ultraviolet dan sinar gamma yang dapat menyebabkan kanker.

9. Laser adalah penguatan cahaya oleh pancaran radiasi yang terkena rangsangan. Kegunaan laser antara lain untuk memotong logam, mendiagnosis penyakit, pengobatan penyakit, pembedahan, mengukur ketebalan plat baja atau kertas, dan sebagainya.

● **Latihan Ulangan Kenaikan Kelas**

**A** Pilihlah jawaban yang tepat.

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 1. C | 11. A | 21. C | 31. B |
| 3. D | 13. E | 23. E | 33. D |
| 5. C | 15. A | 25. B | 35. B |
| 7. A | 17. E | 27. D | 37. D |
| 9. A | 19. E | 29. B | 39. C |

**B.** Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. a.  $1,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$   
b. 1000 kg  
c. 5,04 m/s  
d. 24
3. Setelah 22,2 detik
5. 10 m/s
7. a. 85,4 kali  
b. 4,5 kali  
c. 0,46 cm
9.  $3,3 \times 10^6 \text{ kal} = 3,3 \times 10^3 \text{ kkal}$
11. Energi tiap bulan = 401,7 kWh  
Biaya tiap bulan = Rp. 110.467,00
13.  $\lambda = 26 \text{ m}$   
Kedalaman laut =  $2,6 \times 10^6 \text{ m}$
15. a. *Low frequency (LF)*: 30 kHz - 300 kHz  
b. *Medium frequency (MF)*: 300kHz - 3 MHz  
c. *Very high frequency (VHF)*: 300 MHz-3 GHz  
d. *Ultra high frequency (UHF)*: 300 MHz-3 GHz  
e. *Super high frequency (SHF)*: >3 GHz

# Indeks

## A

akomodasi 148, 176, 177, 190, 193,  
191, 194, 197, 201  
alat ukur listrik 242  
Alessandro Volta 268  
alternating current 242  
Al Haitham 149  
amperemeter 242, 248, 258, 261, 265,  
291, 295  
Anders Celcius 209  
angka eksak 13, 15  
angka penting 2, 11, 13, 14, 15  
Anton van Leeuwenhoek 185  
Asas Black 204, 213, 214, 215, 217  
astigmatisme 180  
AVO meter 248, 249, 279

## B

Bellani 206  
besaran 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 17, 19,  
20, 22, 24, 29, 30, 31, 32, 33, 34,  
36, 45, 49, 58, 59, 84, 191, 197,  
242  
besaran listrik 242  
besaran pokok 3, 4, 8, 16, 33  
besaran turunan 3, 4, 8, 33  
besar vektor 34

## C

cahaya tampak 296  
cermin 148, 149, 157, 158, 167  
cermin cekung 148, 157, 158, 199  
cermin cembung 148, 157, 158, 167  
cermin datar 148, 158  
cross product 34

## D

daya listrik 242, 271, 274, 275  
dimensi 2, 8, 38, 49

direct current 266  
dot product 45

## E

Edwin Howard Armstrong 288  
emisivitas 231, 236  
Euclides 149

## F

fahrenheit 7, 213, 233, 236  
frekuensi 7, 69, 84, 89, 266, 282, 287,  
288, 289, 293, 295

## G

Galileo Galilei 75  
gaya 2, 3, 4, 7, 8, 27, 32, 33, 38, 50, 52,  
100, 102, 276, 279, 295  
gaya sentripetal 135, 139, 140  
gelombang elektromagnetik 234, 282,  
283, 287, 288, 293, 294, 295  
gerak 6, 17, 29, 58, 59, 65, 69, 70, 74,  
75, 78, 79, 84, 89, 92, 96, 100,  
102, 103, 105, 112, 115, 134, 135,  
1346, 271, 276  
gerak lurus beraturan 69, 78, 84, 92  
gerak lurus berubah beraturan 92  
gerak melingkar 100, 132, 135  
gesekan kinetis 115  
gesekan statis 112, 113, 114, 115  
GMB 84  
GMBB 84

## H

hipermetropi 117, 198  
hubungan roda-roda 84, 92  
Hukum I Newton 100, 102, 103, 112,  
133, 136  
Hukum II Newton 100, 103, 105, 133,  
134, 136  
Hukum III Newton 100, 110, 111, 136

Hukum Kirchoff 276  
Hukum Kirchoff I 276  
Hukum Kirchoff II 276  
Hukum Newton 100, 134, 135  
Hukum Ohm 7, 242, 276  
hukum pemantulan 148  
hukum pembiasan 148, 199

## I

Inersia/kelembaman 100, 136

## J

James Clerk Maxwell 283  
James Six 206  
jarak 4, 6, 14, 26, 32, 34, 59, 61, 65, 69,  
74, 84, 89, 105, 157, 158, 167,  
175, 177, 182, 191, 198, 199, 227,  
271, 283, 294  
John Harrison 25

## K

kalar 204, 205, 211, 213, 215, 227, 229,  
231, 233, 234  
kalor jenis 264, 211, 213, 215  
kamera 58, 59, 167, 175, 182, 197, 198  
kapasitas kalor 213  
kecepatan 4, 32, 33, 38, 45, 48, 65, 67,  
68, 70, 74, 75, 78, 79, 84, 86, 89,  
92, 95, 96, 100, 102, 103, 105,  
111, 115, 133, 135  
kecepatan sesaat 82  
kecepatan sudut 84, 86, 89, 92, 95, 96,  
97, 135  
kelajuan 2, 3, 4, 32, 33, 36, 61, 62, 65,  
69, 70, 74, 78, 96, 136  
ketidakpastian 17, 18, 20, 22  
konduksi 204, 233  
konveksi 204, 229, 233

## **L**

lensa 148, 158, 159, 167, 175, 176, 177, 182, 191, 197, 198, 199, 200  
lensa cekung 167, 175, 199  
lensa cembung 167, 182  
Leonardo da Vinci 112  
lup 148, 175, 197, 198, 199

## **M**

mikroskop 148, 175, 197, 198, 199

## **N**

notasi vektor 33, 34

## **O**

ohmmeter 248  
optik 148, 175, 197, 200

## **P**

panjang gelombang 6, 282, 287, 289, 293, 295  
pembentukan bayangan 148, 158, 167, 177, 191  
pengukuran 2, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 28, 29, 30, 31, 32, 205, 245  
penguraian vektor 36, 42

penjumlahan vektor 41, 42, 43, 49  
percepatan 4, 20, 32, 33, 38, 62, 67, 69, 70, 74, 75, 84, 89, 92, 103, 105, 111, 133, 134, 135, 136  
percepatan sentripetal 84, 89  
percepatan sesaat 67  
percepatan sudut 92  
perpindahan 33, 34, 38, 45, 59, 69, 74, 75, 85, 204, 229, 231  
Plato 149  
punctum proximum 177  
punctum remotum 177

## **R**

radiasi 204, 206, 231, 293, 295  
rangkaian paralel 252, 262  
rangkaian seri 252, 260  
resistor 248, 266, 276, 262, 264, 268, 269, 270, 272, 273, 274, 280, 282, 292, 294, 295  
resultan vektor 32, 41, 42

## **S**

satuan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 21, 24, 26, 27, 32, 38, 49, 231  
sinar 149, 157, 167, 175, 177, 231, 287, 288, 293, 295

sinar gamma 293  
sinar ultraviolet 295  
sistem cgs 6, 20  
sistem MKS 6, 20  
sistem Satuan 2, 6, 8, 16  
Sistem Satuan Internasional 6, 8, 10  
spektrum 282, 287, 295  
suhu 2, 3, 7, 8, 14, 204, 205, 206, 211, 213, 215, 224, 227, 229, 231, 233, 276  
suhu mutlak 231

## **T**

teropong 148, 167, 175, 191, 197, 198  
Thomas Alfa Edison 297

## **V**

vektor 32, 33, 34, 36, 38, 41, 42, 43, 45, 49  
voltmeter 242, 248, 276

## **W**

Wilhelm Conrad Rontgen 293, 297



# Daftar Pustaka

- Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP). 2006. *Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar: Mata Pelajaran Fisika Untuk SMA/MA*. Jakarta: BSNP.
- Basar, Khairul dan Novitrian. 2005. *Soal Jawab Fisika Dasar: Mekanika dan Thermofisika*, jilid 1. Jakarta: Salemba Teknika.
- Brewer, Duncan. 2005. *100 Pengetahuan tentang Penemuan*. Bandung: Pakar Raya.
- Bridgman, Roger. 2000. *Jendela Iptek: Teknologi*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Bueche, Frederik J. 2005. *Seri Buku Scaum: Teori dan Soal-Soal Fisika*, edisi ke-8. Jakarta: Erlangga.
- Burnie, David. 2000. *Jendela Iptek: Kehidupan*, cet. ke-2. Jakarta: Balai Pustaka.
- Chew, Charles dan Leong See Cheng. 2001. *Comprehensive Physics For 'O' Level Science*. Singapore: Federal Publication, Ministry of Education.
- Farndon, John. 2005. *Seri Pustaka Sains: Ilmuwan Besar*. Bandung: Pakar Raya.
- Farndon, John dan Ian Graham. 2005. *Seri Pustaka Sains: Menemukan Sains*. Bandung: Pakar Raya.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*, jilid 1, edisi ke-5. Jakarta: Erlangga.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Fisika*, jilid 1, edisi ke-5. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David dan Robert Resnick. 1995. *Fisika*, jilid 1, edisi ke-3. Jakarta: Erlangga.
- Hayt, William H, dkk. 2006. *Rangkaian Listrik*, jilid 1, edisi ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Hemera Technologies Inc. 2005. *50,000 Photo Art* (CD). Cambridgeshire: Global Software Publishing Ltd. Program.
- Hewitt, Paul G. 2002. *Conceptual Physics, Ninth Edition*. San Fransisco: Addicon Wesley.
- Jackson, Tom. 2006. *Seri Kegiatan Sains: Cahaya dan Warna*, cet. ke-1. Bandung: Pakar Raya.
- Jargodzki, Cristopher P dan Franklin Potter. 2005. *Mania Fisika*. Bandung: Pakar Raya.
- Lafferty, Peter. 2000. *Jendela Iptek: Gaya dan Gerak*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Mary dan John Gribbin. 2000. *Jendela Iptek: Ruang dan Waktu*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Oxford Ensiklopedi Pelajar. 1992. *Biografi*, jilid 9. Jakarta: Internusa.
- Sears, Francis Weston dan Mark W. Zemansky. 1963. *Fisika untuk Universitas*, jilid 1, cet. ke-3. Jakarta: Binatjipta.
- Setyawan, Lilik Hidayat. 2004. *Kamus Fisika Bergambar*. Bandung: Pakar Raya.

- Tong, Chung Kam, dkk. 2001. *Manhattan Physics 2*. Hong Kong: SNP Manhattan Press.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Manhattan Physics 3*. Hong Kong: SNP Manhattan Press.
- Turner, Howard R. 1997. *Sains Islam yang Mengagumkan*. Bandung: Nuansa.
- Van Cleave, Janice. 2004. *A+ Proyek-Proyek Fisika*. Bandung: Pakar Raya.
- Wiese, Jim. 2004. *Ilmu Pengetahuan Kuno*. Bandung: Pakar Raya.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Sains di Taman Bermain*. Bandung: Pakar Raya.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Sains dalam Sulap*. Bandung: Pakar Raya.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Sains Detektif*. Bandung: Pakar Raya.
- Woodford, Chris. 2006. *Jejak Sejarah Sains: Cahaya*, cet. ke-1. Bandung: Pakar Raya.
- Yahya, Harun. 2003. *Keajaiban Desain di Alam*. Jakarta: Global Media.
- Young, Loo Wan, dkk. 2001. *Science in Focus Physics for GCE 'N' Level*. Singapore: Longman.
- <http://bibip-bondry.blogs.friendster.com>, 20/08/2006, 10.15 WIB.
- <http://faculty.rmwc.edu>, 12/11/2006, 13.55 WIB.
- <http://globalchange.com>, 15/10/2006, 15.40 WIB.
- <http://jumu.fabrik.hu>, 31/10/2006, 10.25 WIB.
- <http://mooni.fccj.org>, 17/10/2006, 08.55 WIB.
- <http://nakahiro.parfait.ne>, 21/08/2006, 14.15 WIB.
- <http://www.amstrongfoundation.org>, 02/10/2006, 10.25 WIB.
- <http://www.biografiasyvidas.com>, 3/11/2006, 08.50 WIB.
- <http://www.dotfrom.com>, 02/10/2006, 11.15 WIB.
- <http://www.exo.net>, 25/09/2006, 13.30 WIB.
- <http://www.high-definition-television-reviews>, 05/10/2006, 11.10 WIB.
- <http://www.jcwhitney.com>, 02/11/2006, 11.05 WIB.
- <http://www.jenlogix.co>, 04/10/2006, 11.10 WIB.
- <http://www.kompas.com>, 13/11/2006, 14.20 WIB.
- <http://www.media.rivals.net>, 26/09/2006, 13.25 WIB.
- <http://www.northwestnatureshop.com>, 02/11/2006, 10.20 WIB.
- <http://www.safecom.org>, 10/10/2006, 13.30 WIB.
- <http://www.sepingganairport.com>, 25/10/2006, 10.45 WIB.
- <http://www.singersl.com>, 05/10/2006, 10.40 WIB.
- <http://www.thefitsystem.com>, 05/11/2006, 08.15 WIB.
- <http://www.ukhairdresser.com>, 10/09/2006, 09.05 WIB.
- <http://www.xingersl.com>, 15/10/2006, 14.55 WIB.

# Lampiran

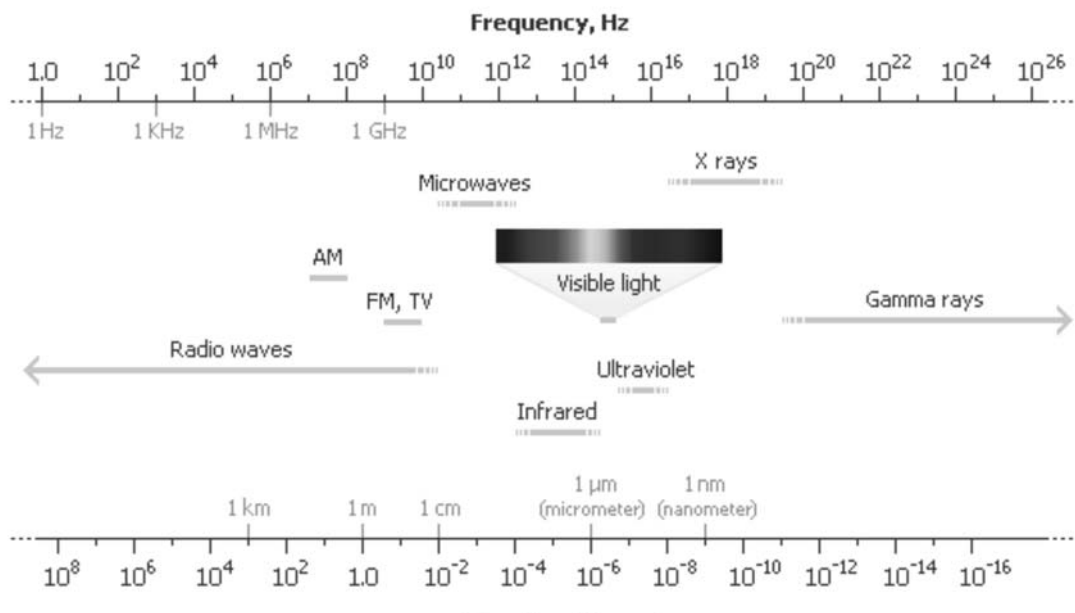
Besaran	Lambang	Satuan	Lambang	dinyatakan dengan satuan pokok	Dimensi
banyak panas	$Q$	joule	J	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\text{M L}^2 \text{T}^{-2}$
banyak zat	$n$	mol	mol	mol	N
daya	$P$	watt	W	$\text{J s}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$	$\text{M L}^2 \text{T}^{-3}$
energi	$E$	joule	J	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\text{M L}^2 \text{T}^{-2}$
frekuensi	$f$	hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$	$\text{T}^{-1}$
gaya	$F$	newton	N	$\text{kg m s}^{-2}$	$\text{MLT}^{-2}$
hambatan	$R$	ohm	$\Omega$	$\text{V A}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-3} \text{I}^{-2}$
hambatan jenis	$\rho$	ohm meter	$\Omega \text{ m}$	$\text{kg m}^3 \text{s}^{-3} \text{A}^2$	$\text{ML}^3 \text{T}^{-3} \text{I}^{-2}$
hantaran	$G$	siemens	S	$\Omega^{-1} = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{A}^2$	$\text{M}^{-1} \text{L}^{-2} \text{T}^3 \text{I}^2$
hantaran jenis	$\gamma$	siemens per meter	$\text{S m}^{-1}$	$\Omega^{-1} \text{m}^{-1} = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^3 \text{A}^2$	$\text{m}^{-1} \text{L}^{-3} \text{T}^3 \text{I}^2$
jarak	$l$	meter	m	m	L
jarak (panjang) gelombang	$\lambda$	meter	m	m	L
kapasitas panas	$C$	joule per kelvin	$\text{J K}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-2} \Theta^{-1}$
kecepatan	$v$	meter per detik	$\text{m s}^{-1}$	$\text{m s}^{-1}$	$\text{LT}^{-1}$
kekuatan arus	$I$	ampere	A	A	I
kekuatan cahaya	$I$	kandela	cd	cd	J
kekuatan lensa	$P$	dioptri 1)	dpt	$\text{m}^{-1}$	$\text{L}^{-1}$
kerapatan	$\rho$	kilogram tiap (per) meter kubik	$\text{kg m}^{-3}$	$\text{kg m}^{-3}$	$\text{ML}^{-3}$
kerja	$W$	joule	J	$\text{N m} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$
koefisien muai kubik	$\gamma$	per kelvin	$\text{K}^{-1}$	$\text{K}^{-1}$	$\Theta^{-1}$
koefisien muai panjang	$\alpha$	per kelvin	$\text{K}^{-1}$	$\text{K}^{-1}$	$\Theta^{-1}$
luas	$A$	meter persegi	$\text{m}^2$	$\text{m}^2$	$\text{L}^2$
massa	$m$	kilogram	kg	kg	M
massa atom relatif	$A_r$	(tuna matra)			
massa molekul relatif	$M_r$	(tuna matra)			
momen gaya	$M$	newton meter	$\text{N m}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$
momen kopel	$T$	newton meter	$\text{N m}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$
muatan	$Q$	coulumb	C	A s	$\text{IT}$
panas jenis	$c$	joule kelvin dan tiap kilogram	$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^2 \text{K}^{-1}$	$\text{L}^2 \text{T}^2 \Theta^{-1}$
panjang	$l$	meter	m	m	L



percepatan	$a$	meter per detik kuadrat	$\text{m s}^{-2}$	$\text{m s}^{-2}$	$\text{LT}^{-2}$
suhu	$T$	kelvin	K	K	$\theta$
tegangan	$V, U$	volt	V	$\text{W A}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$	$\text{ML}^2 \text{T}^{-3} \text{I}^{-1}$
tekanan	$p$	pascal	Pa	$\text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	$\text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$
tekanan bunyi	$p$	pascal	Pa	$\text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	$\text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$
tingkatan bunyi	$L_p$	decibel (tuna matra)	dB		
volum	$V$	meter kubik	$\text{m}^3$	$\text{m}^3$	$\text{L}^3$
		liter	l	$10^{-3} \text{m}^3$	$\text{L}^3$
waktu	$t$	detik	s	s	T
waktu getaran	$T$	detik	s	s	T

Setyawan, Lilik Hidayat, 2004, hlm. 170

## Spektrum Gelombang Elektromagnetik



Microsoft Encarta Premium 2006

**Phenomenon.** Perhatikan alam sekitar. Begitu indah dan teratur. Hukum-hukum fisika mampu menjelaskan fenomena-fenomena itu dengan akurat.

**Happen.** Setelah memerhatikan alam, biasakan untuk selalu bertanya, *How could it happen?* Bagaimana semua itu terjadi? Pupuklah sikap kritis dengan tak henti bertanya.

**Yeach!!** Ya, berteriaklah! Ekspresikan kegembiraan kalian, begitu menemukan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan yang bergolak dalam pikiran.

**Scientific.** Peganglah teguh sikap ilmiah, karena dengannya kalian akan menjadi pribadi yang jujur dan adil dalam proses panjang meraih pengetahuan.

**Implementation.** Implementasikan pengetahuan kalian dalam aktivitas sehari-hari. Dengan demikian, kalian berusaha menempatkan fisika bukan hanya sebagai mata pelajaran sekolah, namun juga sebagai ilmu yang bermanfaat besar bagi kehidupan.

**Combat.** Bertempurlah! Biasakan diri dengan iklim kompetisi. Dengan begitu, semangat kalian akan senantiasa utuh, tak mudah puas dengan hasil yang telah tercapai.

**Scholar.** dengan menguasai ilmu pengetahuan dan berpegang teguh pada sikap ilmiah, jadilah *the real scholar*, seorang terpelajar sejati.

ISBN: 978-979-068-802-5 (no jilid lengkap)

ISBN: 978-979-068-803-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp16.373,-